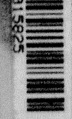
معالم سطح الأرض

الأستاذ الدكتور/ جودة حسنين جودة





طبعة جديدة

١٩٩٨

المكتب الجامعى الحديث

معالم سطح الأرض

معالم سطح الأرض

الأستاذ الدكتور
جودة حسنين جودة

طبعـــة جديـــدة
١٩٩٨

النـــــاشر: المكتب الجامعى الحديث



إهداء

إلى ربة بيتي الصغير التي لولاها
لما أخرجت هذا الكتاب وأمثاله



مقدمة

يعالج هذا الكتاب - فيا يعالج - الأسس البتروجرافية والجيولوجية الرئيسية للدراسات الطبيعية الجغرافية. ولقد أقدمت على تناول هذه الأسس بالدراسة لاقتناعي بعظيم أهميتها لطلاب الجيومورفولوجيا على الخصوص. إذ أن هذا الفرع من الجغرافيا يعتمد إعتاداً أساسياً على الجيولوجيا والبتروجرافيا، وهو يحتاج لدراسته إلى إلمام عميق بالمفاهيم والنتائج الجيولوجية. ولهذا فإننا لا نعجب أن نجد الكتب الجيومورفولوجية تستهل صفحاتها بفصل عن التركيب المعدني والصخري لقشرة الأرض، وبفصل آخر عن القوى الداخلية التي تعمل على تشكيل سطح الأرض، إذ أن هذه الدراسات الافتتاحية تعتبر ضرورة مفهومة ومقبولة. ولا شك أن الفصل الأول يتبع علم الصخور (البتروجرافيا) والفصل الثاني ينسب للجيولوجيا الديناميكية. ولكن هذا وذاك لا شك يخدمان الدراسة الجيومورفولوجية، سواء ما اختص منها بالأشكال الكبرى أو الأشكال الصغرى لسطح الأرض.

وإذا كانت نظم ومناهج الدراسة في معاهد الجغرافيا بدول أوروبا ترفع عن كاهل أستاذ الجغرافيا عبء التدريس والتأليف في الأسس البتروجرافية والجيولوجية، بما تتيحه لطلاب الجغرافيا من دراسة متعمقة في هذا المجال على أيدي المختصين، فإن نظم الدراسة ومناهجها في

الجغرافيا بجامعاتنا العربية تفرض عليه هذا العبء. ولعل هذا النقص هو الذي حدا ببعض أساتذتنا وزملائنا إلى التأليف في هذا المجال، وإلى إخراج كتب رائدة في قواعد الجغرافية الطبيعية. على أن ما جاء بتلك الكتب خاص بهذا الموضوع عابر ومقتضب. ربما لإحساس الجغرافي أن التفصيل في هذه الدراسات يخرجه عن مجالات تخصصه.

ومع هذا فإن المؤلف يحس بأنه لم يتوغل في تلك الدراسات البتروجرافية والجيولوجية إلا برفق، ولم يعالج منها في هذا الكتاب إلا ما ارتآه هاماً وضرورياً لطالب الجغرافيا الطبيعية. فكم من طالب يجد الرغبة في متابعة دراساته العليا في المجال الجيومورفولوجي، ولكنه يحجم لإحساسه بالنقص في تكوينه البتروجرافي والجيولوجي. ولست أدعى أن هذا الكتاب يسدّ كل هذا النقص، فما ورد به سوى مدخل إلى هذه الدراسات، ولكنه لا شك ييسر لطلاب الجغرافيا مهمة التعمق في دراسة هذين العلمين. مما يشجعه على التخصص في مجالات الجيومورفولوجيا التي تجد إقبالاً عظيماً من جانب طلاب العلم في أوروبا، والتي ما تزال عندنا هامشاً للمتن الجغرافي.

ويعالج الكتاب في فصله الأول نشأة الأرض كفرد في المجموعة الشمسية ومختلف النظريات التي تفسر تلك النشأة. أما الفصل الثاني فيختص بدراسة التركيب الصخري لقشرة الأرض. وقد تحريت في الدراسة أن أختار أهم المعادن والصخور التي تدخل في تركيب القشرة الأرضية، والتي يصادفها الجغرافي عادة أثناء دراساته الحقلية، وسردت أهم صفات كل منها التي تعين الدارس على تمييزها في الحقل عن بعضها. وعلى الرغم من أنني بذلت كل جهدي في رسم العديد من الأشكال التوضيحية، إلا أنني أشعر أن مثل هذه الدراسة النظرية لا بد أن يسندها مشاهدات للمعادن والصخور في قاعة الدرس وفي الحقل، وهنا تبرز أهمية إعداد مجموعة من

المعادن والصخور - متحف جيولوجي! في كل معهد جغرافي، كما تتضح أهمية الرحلات التي لا غنى عنها للجغرافي. ويختص **الفصل الثالث** بدراسة للقوى الداخلية، البطيء منها والسريع، التي تؤثر في تشكيل سطح الأرض. ويحوي **الفصل الرابع** دراسة للقوى الخارجية (عوامل التعرية) وأثرها في تشكيل وجه الأرض. أما **الفصل الخامس** فيدرس توزيع اليابس والماء كما نراه حالياً ومحاولات تفسير هذا التوزيع، يتبعه فصل عن النظريات الجيوتكتونية التي تفيد الجغرافي في التعرف على مختلف الآراء ووجهات النظر في تفسير ظاهرات سطح الأرض، وتعالج **الفصول الأخيرة** من هذا الكتاب الحقائق الهامة الخاصة بتضاريس سطح الأرض. وقد حاولت أن أظهر هذه الحقائق بدراسة لما هو معروف عن طبيعة وتوزيع الكتل الثابتة، ونظم المرتفعات في ماضيها وحاضرها. ولعلمي بأن كثيراً من مواد الدراسة في هذا الكتاب تحتاج إلى مشاهدات قد لا تتيسر أو بعضها للدارسين، فقد زودتها بكثير (بنحو مائتين) من الأشكال والخرائط والصور التوضيحية.

وإني إذ أقدم هذا الجهد لزملائي وتلاميذي لأرجو لهم به النفع، والله ولي التوفيق.

بيروت ١٩٨٠

جودة حسنين جودة



الفصل الأول

نشأة الأرض

الأرض كوكب من كواكب المجموعة الشمسية، وهي تدور حول الشمس كغيرها من الكواكب. وتعتبر مشكلة نشأة المجموعة الشمسية ونشأة الكون بوجه عام من المشاكل الهامة التي شغلت أذهان العلماء منذ وقت بعيد.

وقد تعرض العديد من النظريات لتفسير نشأة المجموعة الشمسية. ومن بين النظريات القديمة تلك النظرية التي تقدم بها إيمانويل كانت (١٧٢٤ - ١٨٠٤) Immanuel Kant في عام ١٧٥٥.

نظرية كانت Kant:

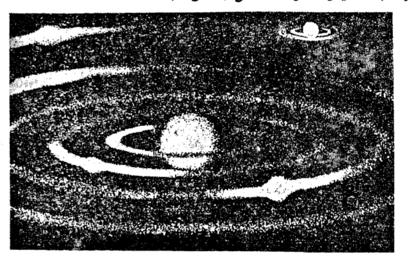
يعتقد «كانت» أن الكون يزخر بأجسام صغيرة صلبة في حالة ثبات، ولكنها كانت تختلف عن بعضها في الحجم والكثافة. ثم بدأت هذه الأجسام تتجاذب، فتحركت الأجسام الصغيرة منها نحو الكبيرة، وأخذت تتصادم مع بعضها وتلتحم مكونة لأجسام أكبر، واستمرت هذه الأجسام الكبيرة تجذب إلى مجالها الأجسام الأصغر حجماً، فنشأ عن ذلك تكوين عقد ضخمة من المواد الكونية.

وقد أخذت هذه العقد تتجاذب وتتصادم، ونتج عن تصادمها توليد حرارة هائلة كانت كافية لصهرها، ثم تحويلها إلى كتلة غازية متوهجة تشبه السديم. وأصبح هذا السديم يدور حول نفسه بسرعة كبيرة، وبدأت تنفصل منه حلقات غازية نتيجة لقوة الطرد المركزية، كل حلقة منها لها قوة جاذبية خاصة بها، ثم أخذت الحلقات تدور في إتجاه واحد حول نواة السديم، وهي الجسم المركزي الذي تمثله شمسنا الحالية. وبالتدريج تكاثفت مواد كل حلقة في هيئة نيازك أخذت تتحد ببعضها بتأثير قوى الجذب مكونة لكوكب. وهكذا تكونت مجموعة الكواكب المعروفة التي تدور حول الشمس (شكل ١).

نظرية بيير لابلاس (١٧٤٨ - ١٨٢٧) **Pierre Laplace**:

وفي عام ١٧٩٦ تقدم «لابلاس» بنظرية مماثلة لنظرية «كانت» يفسر بها تكوين المجموعة الشمسية وغيرها من المجموعات الكونية الأخرى. وتدّعي النظرية بأن المادة التي تتكون منها الشمس والكواكب وتوابعها كانت عبارة عن جسم غازي ملتهب (سديم nobula) كان يدور حول نفسه (لسبب غير معروف). وبسبب تجاذب مكوناته بدأ السديم يتكاثف عند مركزه، وقد أدى هذا إلى تكوين الشمس. وفي البداية كانت الشمس ما تزال مغلفة بالسديم الذي كان يدور حولها. وكانت أجزاء السديم القريبة من الشمس تدور في فلك نصف قطره أقصر من أفلاك الأجزاء الأخرى منه البعيدة عنها، ولكنها كانت تتم دورتها في زمن مماثل للزمن الذي تستغرقه دورة الأجزاء البعيدة. وينشأ عن البعد عن المركز ضعف في قوة الجذب بينما يشتد ساعد قوة الطرد. وعند حد معين تتعادل القوتان. وقد كان الفاصل بين نظام وآخر يمر خلال ذلك الحد.

وقد أخذت حرارة السديم تنخفض تدريجياً، إذ كانت تشع إلى الفضاء، وبالتالي أخذ يبرد بالتدريج وينكمش. وقد أدى هذا إلى إزدياد في سرعة دورانه، حتى بلغت تلك السرعة درجة تفوقت عندها قوة الطرد على قوة الجذب المركزية، ونتيجة لهذا بدأ السديم يفقد شكله الكروي، ويتحول إلى شكل شبيه بالكرة، فانبعج عند خط استوائه، وبدأ يتحلل في شكل حلقات عديدة ضيقة ورفيعة. وبسبب عدم تساوي وانتظام التبريد تحطمت الحلقات، ثم نتيجة لقوى الجذب المتبادل بين الأجزاء المحطمة تكونت الكواكب السيارة حول الشمس (شكل ١).



شكل رقم (١) نشأة الشمس والكواكب حسب نظرية كانت- لابلاس

وعلى النّقيض من نظرية «كانت» التي لم تحظ بشيء من الاهتمام، فإن آراء «لابلاس» قد شاعت وذاعت فور نشرها، وأثرت في الأفكار الفلكية خلال القرن التاسع عشر. وقد فسرت نظرية «لابلاس» أسباب دوران الكواكب حول الشمس في نفس الاتجاه الذي تدور فيه الشمس حول محورها، كما فسرت انتظام مدارات الكواكب فيما يقرب من مستوى واحد، ودوران الكواكب حول محاورها في نفس اتجاه دوران الشمس حول نفسها.

ونظراً لتشابه ما جاء بنظريتي «كانت» و«لابلاس» من آراء وافتراضات فإنهما تعرفان الآن بنظرية «كانت - لابلاس».

ولقد أدى التعمق في دراسة الكون والمجموعة الشمسية فيما بعد إلى ظهور عديد من الحقائق التي تناقض آراء «كانت» و«لابلاس». فلقد أصبح معروفاً على سبيل المثال أن أقمار (توابع) بعض الكواكب لا تدور في نفس إتجاه دوران الكواكب حول نفسها، وينطبق هذا على الخصوص على بعض أقمار كوكبي أورانوس والمشترى.

وخلال القرن العشرين حدث تطوير لنظرية «كانت - لابلاس» يتمثل في عدد من النظريات التي تقدم بها مولتون وتشمبرلين Moulton and Chamberlin وجينز وجيفريز Jeans & Jeffreys وآخرون.

نظرية مولتون وتشمبرلين:

وتعرف هذه النظرية أيضاً باسم نظرية الكويكبات Planetesmal Hypothesis وقد تقدم بها هذان العالمان في عام ١٩٠٤. وهي تهتم بتفسير نشأة الكواكب بصفة عامة. وهي على عكس النظريات القديمة لا تعتبر ميلاد الكواكب كظاهرة في التطور العام لكتلة أصيلة أصبحت الشمس نواتها المركزية فيما بعد، إذ ترى النظرية أن تكوين الكواكب قد تم عن طريق التأثير المتبادل بين الشمس ونجم آخر أضخم منها حجماً. فقد حدث أن اقترب ذلك النجم من الشمس وجذبها إليه، فحدث فيها تمدد عند جانبيها المقابل والمظاهر للنجم، كما حدث انفجار في جسم الشمس نتيجة للضغط الشديد الواقع على أجزائها الداخلية، ونجم عن هذا وذاك أن إنفصلت عن جسم الشمس أجزاء أو ألسنة ملتهبة من المنطقتين اللتين

أصابها المدّ على دفعات متتابعة، ثم أخذت تلك الأجزاء تتلاحم ويجمع الكبير منها - بدرجات متفاوتة - الأجسام الصغيرة المبعثرة التي تعرف بالكويكبات، وأخذت تنمو إلى أن وصلت إلى حجم الكواكب العشرة المعروفة التي تتكون منها المجموعة الشمسية.

وتحتوي النظرية على أفكار تختص بتركيب الأرض. فهي لا ترى أنه من الضروري افتراض أن الأرض كانت في وقت ما في حالة سائلة أو منصهرة. فالأرض قد نمت وكبرت عن طريق إضافة مواد الكويكبات، وكان نموها سريعاً في البداية، ثم أخذت سرعة النمو تقل تدريجياً. ولقد ارتفعت حرارتها الباطنية نتيجة لعمليات التكاثف في كتلتها أثناء فترة نموها، وقد نشأت جيوب من المواد الأكثر قابلية للانصهار وانبثقت نحو الخارج لتتصلب وتكون القشرة الخارجية الصخرية للأرض، بينما بقيت المواد الفلزية في الداخل. وتعتقد النظرية أن الغلاف الجوي والغلاف المائي قد نشآ أيضاً من مواد اشتقت من الكويكبات.

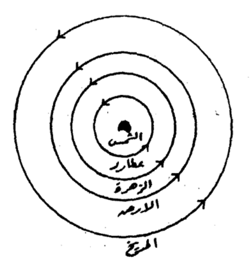
نظرية جينز وجيفريز أو نظرية المد الغازي:

لقد عانت نظرية تشمبرلين ومولتون الكثير من النقد والاعتراض من نواح عدة، هذا على الرغم من أن الأسس التي قامت عليها ما تزال تجد قبولاً عند كثير من الباحثين.

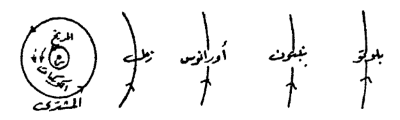
وتقوم نظرية « جينز » و « جيفريز » أساساً على الاعتراف بتأثير قوى الجذب على اعتبار أنها العامل المؤثر الوحيد، وتنكر عمليات الانفجار التي تفترض حدوثها نظرية الكويكبات.

وتدعى هذه النظرية أنه لو اقترب نجم من الشمس أعظم منها جرماً

عدة مرات، فإن حواف الشمس ذاتها تتحطم نتيجة لقوى المد العنيفة التي تقذف بالأجزاء المحطمة بعيداً عن الشمس. هذه المقذوفات الملتهبة تحتوي من المواد ما يكفي لأن يجعلها تتماسك في شكل عمود غازي ضخم لا تتناثر أجزاؤه بكثرة في الفضاء. وتحت تأثير الجاذبية تتكون عقد متكاثفة خلال ذلك العمود. وتعتقد النظرية أنه بمرور الزمن قد استطاعت هذه العقد أن تكون كواكب مستقلة ذات أعمار متماثلة، وكل منها يدور حول الشمس في مدار دائري تقريباً. وقد كان هذا العمود الغازي الذي انفصل عن الشمس أكثر سمكاً وضخامة في الوسط منه عند طرفيه، وقد أدى هذا إلى أن الكتل أو العقد التي انفصلت واستقلت في الوسط كانت أكبر من غيرها، ومنها نشأت وتكونت الكواكب الأكبر حجماً. أما الكواكب الصغيرة فقد تكونت عند طرفي العمود الغازي أو بالقرب منها، ويتفق هذا الترتيب في أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية إذ يشغل الكوكبان العظيمان المشترى وزحل مركزاً وسطاً بين الكواكب (شكل ٢، ٣).



شكل رقم (٢): يوضح مدارات الكواكب الأربعة القريبة من الشمس



شكل رقم (٣): يوضح أجزاء من مدارات الكواكب الأخرى البعيدة عن الشمس بالإضافة إلى مدار كوكب المريخ. ينبغي تصور مدارات الكويكبات العديدة بين فلكي المريخ والمشترى ويمثلها السهان المتقطعان.

وتفترض النظرية أيضاً أن الأقمار قد انفصلت عن الكواكب تحت تأثير جاذبية الشمس، أو ربما بتأثير النجم الزائر نفسه.

وتذكر النظرية أن الكواكب الصغيرة وكذلك الأقمار لم تتكون عن طريق التكثيف البطيء من الحالة الغازية، لأنها لم تكن لتستطيع أن تقوم بذاتها إلا إذا كانت قد تحولت ولو جزئياً إلى الحالة السائلة أو الصلبة بعد ميلادها مباشرة، وبذلك استطاعت أن تحتفظ بذاتها دون أن تتناثر وتتشتت موادها في الفضاء. ففي حالة هذه الأجسام الصغيرة نسبياً كان ينبغي أن تتكون مباشرة نواة داخلية سائلة عن طريق التبريد الذي يحدث نتيجة لتمدد الغازات من ناحية، وبسبب الإشعاع الحراري السطحي من ناحية أخرى. وبهذه الطريقة تفترض النظرية أن الأرض قد بردت إلى أن وصلت إلى حالة سائلة تماماً، ثم تصلبت بعد ذلك عن طريق فقدان الحرارة بالإشعاع، وعلى هذا النحو أمكن ترتيب مواد الأرض أثناء عمليات التبريد في شكل نطاقات أو أغلفة، حسب كثافة المواد المكونة لكل غلاف منها.

ويعتقد « جيفريز » أن كل هذا التغير والتطور قد حدث في زمن قصير

جداً. وحينما كانت الأرض في حالة سائلة كانت الحرارة المنبعثة من داخلها إلى سطحها تكفي لتعويض الفاقد من الحرارة عن طريق الإشعاع السطحي. ولكن حين تصلبت القشرة الخارجية لم يكن هناك سبيل لوصول الحرارة الجوفية إلى السطح الخارجي للأرض إلا عن طريق عمليات التوصيل الحراري البطيئة، ولهذا فقد أخذ سطح الأرض حينئذ يبرد بسرعة. أما بخار الماء الذي كان موجوداً في الجو البدائي فقد تكاثف حالما تكونت القشرة الأرضية الصلبة، ومن ثم نشأت عمليات التعرية المعروفة ونشطت عمليات تمايز وتشكيل سطح الأرض.

وتفترض جميع نظريات المد الغازي وجود نجمين قد اشتركا عن طريق تأثيراتها المتبادلة في نشأة الكواكب.

وعلى الرغم من أننا لا نتناول هنا بالدراسة سوى ما يختص بنشأة الأرض، ولا يهمنا التعرض لنشأة الكون، فإننا نجد أنه من المفيد هنا أن نعرض لبعض ظاهرات الكون الأخرى التي تفيدنا في تفهم بعض أسس نظريات المد الغازي.

فإلى جانب النجوم وهي النقاط المنيرة التي نراها في السماء، هناك أجسام أخرى هي السدم Nebulae التي يمكن تمييزها عن النجوم إذ أنها تشغل مساحة كبيرة من السماء، والسدم أجسام مضيئة رقيقة تبدو في شكل كتل غازية هائلة الحجم أعظم جرماً بكثير من السديم الذي تصوره لابلاس في نظريته. ويمكن اعتبارها بمثابة مجموعات نجمية Stellar Systems قائمة بذاتها. وهي تمر خلال سلسلة من التغيرات المتتابعة كلما زادت سرعة دورانها نتيجة لانكماشها. وبتأثير دورانها حول نفسها وجاذبية السدم الأخرى المجاورة، نجد أن النطاق الإستوائي منها ينخلع مكوناً لذراعين



شكل (٤) سديم حلزوني

طويلين يمتدان في اتجاهين متعاكسين كما يحدث في السدم الحلزونية Spiral nebulae (شكل ٤). وفي داخل هذه الأذرع تتجمع المواد التي انتشرت من مركز الجسم في شكل عقد Knots ضخمة، تعادل في كتلها أعظم النجوم حجماً، وهي في الواقع تعتبر نجوماً جديدة النشأة.

هذه العمليات التي تحدث في السدم الحلزونية تشبه إلى حد ما - حسب الاعتقاد السائد الآن - ما حدث أثناء تكوين المجموعة الشمسية ولكننا نجد أن نتاج هذه العمليات لا يتمثل في تكوين كواكب، وإنما ينشأ عنها تكوين نجوم جديدة، ولهذا لا يمكننا أن نتصور أن العمليات التي تحدث في السدم الحلزونية تعرض لنا صورة ما حدث أثناء تكوين المجموعة الشمسيه

الازدواج النجمي:

(نظريتا هويل Hoyle وليتليتون Lyttleton):

كانت نظرية المد الغازي التي ابتدعها «جينز» في الأصل، وأحدث بها «جيفريز» التعديل والتحوير تعتبر في مجموعها مقبولة لتفسير الصورة العامة لعملية نشأة المجموعة الشمسية. وقد ظهر بعد ذلك كثير من الصعوبات أمام صحة هذه النظرية، كما أثير في وجهها كثير من الاعتراضات. ولهذا فقد ظهرت نظريات أخرى تحاول تفادي تلك الصعوبات. ولقد اعترف جيفريز نفسه (في سنة ١٩٥١) أن نظريته بشكلها الذي ظهرت به في عام ١٩٢٧ تحتاج إلى تعديل بعض جوانبها، كما قد جانبها الصواب تماماً في بعض جوانبها الأخرى.

ومن بين الصعوبات الرئيسية التي واجهتها هذه النظرية أن الكواكب ما هي إلا قسم يسير من الكتلة الكلية للمجموعة الشمسية، ومع هذا فهي تبعد بعداً عظيماً عن الشمس وتتحرك حولها. وإذا حاولنا كما يقول «هويل» أن نخضع المجموعة الشمسية لمقياس نسبي، فنمثل الشمس بكرة في حجم البرتقالة، فإن جرم الكواكب يقع بالنسبة لتلك الكرة على بعد نحو ١٠٠ متر منها. ولهذا نجد أن المسافات الشاسعة التي تفصل بين الشمس والكواكب لا تعزز أية نظرية تفترض انفصال مادة الكواكب من جسم الشمس، إذ أنه لو أن الكواكب قد انفصلت عن الشمس لكانت تبعد عنها بمسافات قصيرة محدودة.

وهناك اعتراض آخر يوجه إلى نظرية المد الغازي، وهو أن الشمس تتركب في معظمها من عناصر خفيفة كالأيدروجين والهليوم، وهي عناصر يقل وجودها في الأرض، بينما نجد أن الأرض والكواكب الأخرى تتركب

من نسب كبيرة من عناصر ذرية مركبة ثقلها الذري عظيم كالحديد والألمنيوم، وهي عناصر نادرة الوجود في جسم الشمس. ولهذا نجد أن المواد التي يمكن أن تنفصل عن الشمس بشكل (عمود غازي) أو بآخر، لا يمكن أن تؤدي إلى تكوين مواد كواكب المجموعة الشمسية.

ويقول Lyttleton (١٩٣٦) أنه يمكن التغلب على الصعوبة الأولى لو تصورنا أن الشمس وقت زيارة النجم لم تكن منفردة، بل كان يصاحبها نجم آخر، وظاهرة الازدواج النجمي نجدها شائعة نسبياً في الكون. معنى هذا أنه كان يوجد ثلاثة أجرام. الشمس والنجم المصاحب لها ثم النجم الزائر. فإذا كان النجم المصاحب للشمس أكثر منها صلابة - وهذا من الممكن افتراضه -، ويبعد عنها -حسب المقياس المصغر الآنف الذكر- بنحو ١٠٠ متر، فإن تأثير النجم الزائر في هذا النجم المصاحب قد ينشأ عنه تكوين الكواكب على أبعاد من الشمس تناسب أبعادها الحالية عنها.

وللتغلب على الصعوبة الثانية يفترض هويل (١٩٤٦) أن النجم المصاحب للشمس (سماه سوبر نوفا Supernova) كان يفقد كميات هائلة مما يحويه من الايدروجين بالإشعاع. وقد تسبب هذا في تقلصه وانكماشه، وبالتالي ازدادت سرعة دورانه فانفجر بشدة وعنف. ويعتقد « هويل » أن عنف الانفجار النجمي قد أدى إلى طرد نواة هذا النجم المصاحب للشمس بعيداً عن مجال جاذبية الشمس، بينما بقيت كتلة من الغاز كانت كافية لتكوين قرص مستدير يدورحول الشمس، وفيه نشأت وتكاثفت الكواكب المعروفة فيما بعد. وترى النظرية أن إنفجار السوبر نوفا قد ولّد حرارة هائلة بلغ مقدارها ٥×١٠^{٩} درجة مئوية، وهي الحرارة التي يعتقد أنها كافية لتأليف العناصر الثقيلة التي تتركب منها الكواكب. ومثل هذه الدرجات العالية من الحرارة لا نجدها حتى في الأجزاء المركزية من أي نجم

من النجوم الثوابت العادية. ويمكن اعتبار ما جاء بنظريتي سلسون وهويل بمثابة تفسير عام لا بأس به لنشأة المجموعة الشمسيه

نظريات أخرى:

لقد تقدم العلماء الروس ببعض النظريات في محاولات أخرى لتفسير نشأة المجموعة الشمسية. ومن بين هؤلاء العلماء أوتو شميت Otto Schmidt الذي تقدم بنظرية في عام ١٩٤٤ مؤداها أن الكواكب التي تتكون منها المجموعة الشمسية قد نشأت عن سديم غازي استطاعت الشمس أن تجذبه إليها أثناء تحركه في الفضاء. ولقد حدث أن اتحدت الأجسام الصلبة (نيازك) في مجال كتلة السديم الغازية تحت تأثير قوى الجاذبية، فنشأ عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة. ويعتقد صاحب النظرية أن الكواكب كانت تنمو بسرعة في البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتتساقط عليها وتتّحدبها، وفي أثناء المليوني سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة. ويعتقد « شميت » أنه قد صار إعادة توزيع كتل النيازك في جرم الأرض وهي في حالة ليونة دون أن تمر في مرحلة سيولة إنتقالية. ويقول « شميت » إن الأرض لم تكن على درجة كبيرة من الحرارة، وقد حدث تسخين الأرض ورفع درجة حرارتها عن طريق تحلل العناصر المشعة.

وقد أمكن لهذه النظرية أن تفسر بعض الظاهرات الخاصة بالمجموعة الشمسية كالمدارات الدائرية، ودورات الكواكب، والقوانين التي تحكم المسافات بين مختلف الكواكب، وتقسيم الكواكب إلى مجموعتين: مجموعة من الكواكب الكبيرة وأخرى من الكواكب الصغيرة من مثل طابع الأرض

ومن أهم نقط الضعف في نظرية « شميث » هي تفسير نشأة النيازك حول الشمس، وهي التي تكونت الكواكب من موادها في الأصل. ولقد أمكن - رياضياً - إثبات أنه من الممكن للشمس أن تجذب سحباً من هذه الأجسام من مجال المجموعة النجمية التي تنتمي إليها الشمس وهي المعروفة باسم « جالاكسي » Galaxy ، وذلك في حالة افتراض التأثير المتبادل بين ثلاثة نجوم. ومع هذا فيقال أن هذه الإمكانية من الندرة بحيث تجعل عملية تكوين الكواكب ظاهرة وحيدة في الكون.

وقد حدى هذا بالعلماء الروس أن يبحثوا عن تفسيرات أخرى لمصدر وأصل السحب الغازية المتربة حول الشمس. ولقد دلت الدراسات التي قام بها الفلكي الطبيعي الروسي أمبارسوميان V. A. Ambarsumyan أن النجوم تتكون باستمرار نتيجة لتكثيف مواد من السدم الغازية المتربة Gas-dust Nebulae .

وعلى أساس هذه الحقيقة، تقدم الفلكي الروسي فيسينكوف V. A. Fesenkov بنظرية مؤداها أن الشمس والكواكب التي تدور حولها قد نشأت من وسط غازي مترب. وتدعى النظرية أنه في الوقت الذي تكونت فيه الشمس كنجم عادي أخذت تنفصل منها أجزاء عند نطاقها الاستوائي نتيجة لعظم حجمها وشدة سرعة دورانها. وقد كونت هذه الأجزاء المنفصلة سحابة غازية متربة كثافتها غير منتظمة التوزيع. ثم حدث بعد ذلك تكثيف في داخل السحابة حول نوايات أخذت تنمو عن طريق الجاذبية مكونة للكواكب المعروفة. معنى هذا أن تكوين الكواكب ما هو إلا جزء من العملية العامة التي يتم بها تكوين النجوم وهي ظاهرة شائعة الوجود في الكون. وقد سبق أن استبعدنا إمكانية تطبيق هذه الظاهرة على تكوين المجموعة الشمسية.

بعض الحقائق المعروفة عن المجموعة الشمسية:

هناك اتفاق عام بين العلماء في الوقت الحاضر على أن الشمس والكواكب التسعة المعروفة التي تدور حولها تكوّن مجموعة كوكبية تسبح في الفضاء بسرعة تبلغ ٢٣٣ كلم في الثانية. وتقع مجموعة الكواكب الثانوية ذات الطابع الأرضي أقرب إلى الشمس من غيرها، وهي صغيرة الحجم نسبياً وكثافتها مرتفعة جداً. وإذا اتخذنا المسافة التي تقع بين الأرض والشمس ومقدارها ١٤٩٠٠٠٠٠٠ كيلو متراً واعتبرناها وحدة القياس للمسافة، فإننا سنجد أن الكواكب تبتعد عن الشمس بالوحدات الآتية: عطارد ٠,٣٩ وحدة، الزهرة ٠,٧٢ وحدة، الأرض ١,٠ وحدة، المريخ ١,٥٢ وحدة، المشترى ٥,٢ وحدة، زحل ٩,٥٢ وحدة، أورانوس ١٩,١٦ وحدة، نيبتون ٢٩,٩٩ وحدة، بلوتو ٣٩,٣٧ وحدة (أنظر شكلي ٢ و٣).

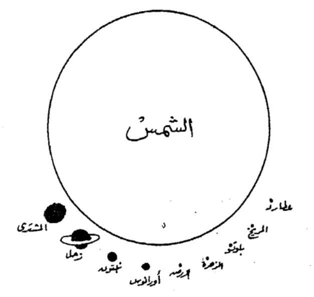
ويفصل هذه المجموعة من الكواكب الثانوية عن مجموعة الكواكب الخارجية الرئيسية نطاق من الكويكبات Planetoids الذي يتكون من مجمعات من الأجسام الصغيرة الشبيهة بالكواكب تدور هي الأخرى حول الشمس في مدارات بيضاوية. ويقدر الفلكي الروسي Fesenkov الكتلة الكلية للكويكبات بنحو ٠,٠٠٠٣ من كتلة الأرض. (تبلغ كتلة الأرض ٥٠٠٠ مليون مليون مليون طن).

وإذا اتخذنا قطر الأرض واعتبرناه وحدة قياس (القطر القطبي للأرض حوالى ١٢٦٤٠ كم أو ٧٩٠٠ ميل، والقطر الاستوائي يزيد عن القطر القطبي بنحو ٤٣ كم أو ٢٧ ميل). فإننا سنجد أن قطر عطارد يبلغ نحو ٠,٣٨ وحدة، والزهرة ٠,٩٥ وحدة، والمريخ ٠,٥٣ وحدة. أما

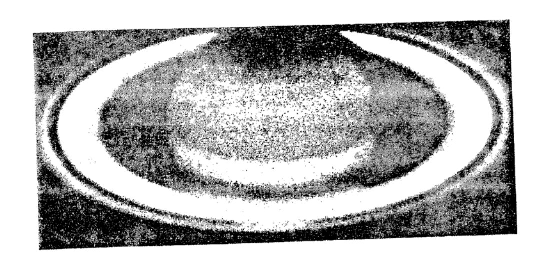
الكواكب الكبرى فنجد أطوال أقطارها كالآتي: المشترى ١١,١٩ وحدة، زحل ٩,٥ وحدة، أورانوس ٣,٧ وحدة، نبتون ٢,٨٩ وحدة، أما قطر «بلوتو» فهو ما يزال مجهولاً، ويقدر بنحو نصف وحدة إلى وحدة (شكل ٥).

ويعتقد الفلكيون أن كثافة الكواكب الصغيرة أكبر من كثافة الكواكب الكبرى. فكثافة الأرض تبلغ ٥,٥٢ بينما تبلغ كثافة المشترى ١,٣، أما كثافة زحل فتصل إلى نحو ٠,٧ فقط أي أقل من كثافة الماء.

وهناك ستة كواكب لها توابع أو أقمار وهي: الأرض والمريخ والمشترى وزحل وأورانوس ونبتون. ويدور معظم هذه الأقمار حول الكواكب في نفس اتجاه دوران الكواكب حول الشمس. ويتبع المشترى أكبر عدد من الأقمار إذ يبلغ عددها ١٢، منها ثمانية تدور حول المشترى في نفس اتجاه دوران الكوكب نفسه، بينما الأربعة الأخرى تدور في اتجاه معاكس.



شكل رقم (٥) يوضح الأحجام النسبية للشمس والكواكب التسعة

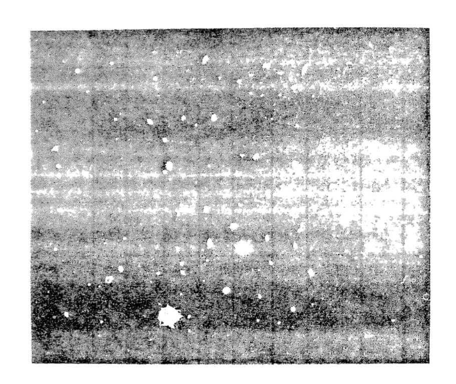


شكل (٦) الكوكب زحل لاحظ الهالة حوله

ويتبع المريخ قمران، وزحل تسعة أقمار كما تحيط به هالة (شكل ٦). أما أورانوس فتتبعه خمسة أقمار، ونبتون قمران، والأرض قمر واحد. وهناك ثلاثة كواكب هي عطارد والزهرة وبلوتو ليس لأي منها قمر يتبعها.

وعلى هذا تشتمل المجموعة الشمسية على تسعة كواكب وواحد وثلاثين قمراً (دون حساب الهالة حول زحل). وفي ٢ يناير ١٩٥٩ أطلق الروس أول صاروخ إلى الفضاء استطاع أن يخرج من مجال جاذبية الأرض ليتخذ له مداراً حول الشمس، وبالتالي أصبح أول تابع صناعي للمجموعة الشمسية.

وتمتد المجموعة الشمسية بشمسها وكواكبها وأقمارها ومذنباتها ونيازكها وشهبها في حيز فضائي قطره ١٢,٨ بليون كيلو متر (٨ بليون ميل)، ويستغرق الضوء الذي تبلغ سرعته ٢٩٩٧٢٨ كم (١٨٦,٢٨٢ ميل) في الثانية نصف يوم كامل لعبوره. وفيما يلي جدول بالخصائص العامة لكل كوكب.



شكل (٧) جمع من السدم في « ذات الشعور » Coma Berinices . والصورة لجزء صغير جداً في السماء، صوّرهُ منظارٌ قطرُ مرآته ١٠٠ بوصة. وغالب الأجرام التي تُرى فيها سدم على مسافات يستغرق الضوء في قطعها ٥٠ مليون سنة، يصلُ بعدها إلينا. ويتكون كل سديم من بعض آلاف الملايين من النجوم، أو من المادة التي تتكون منها النجوم.

	عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ	المشترى	زحل	أورانوس	نبتون	بلوتو
القطر القطبي (للأرض ١ = ١٢٦٤٠ كم)	٠,٣٨	٠,٩٥	١	٠,٥٣	١١,١٩	٩,٥	٣,٧	٣,٩	٠,٥ ؟
الكتلة (الأرض = ١)	٠,٠٦	٠,٨٢	١	٠,١١	٣١٧,٩	٩٥,١	١٤,٥	١٧,٣	٠,١٨ ؟
الحجم (الأرض = ١)	٠,٠٦	٠,٨٦	١	٠,١٥	١٣١٨	٧٦٩	٥٠	٥٩	؟
الكثافة (المياه = ١)	٥,٥	٥,٢٧	٥,٥٢	٣,٩٥	١,٣٣	٠,٦٩	١,٧	١,٦	؟
الجاذبية الاستوائية (الأرض = ١)	٠,٣٩	٠,٩١	١	٠,٣٨	٢,٣١	٠,٨٨	١	١,١	؟
عدد الأقمار	–	–	١	٢	١٢	٩	٥	٢	–
مدة الدورة حول المحور (بالزمن الأرضي)	يوم ٥٨,٦٥	يوم ٢٤٣	يوم ١	يوم ١,٠٣	ساعة ٩,٩٣	ساعة ١٠,٢٣	ساعة ١٠,٨	ساعة ٢٥,٨	يوم ٦,٣٩
مدة الدورة حول الشمس (بالزمن الأرضي)	يوم ٨٨	يوم ٢٢٤,٧	سنة ١	سنة ١,٨٨	سنة ١١,٨٦	سنة ٢٩,٤٦	سنة ٨٤,٠١	سنة ١٦٤,١	سنة ٢٤٧
متوسط البعد عن الشمس (الأرض = ١٤٨,٧٣٠,٥٠٠ كم)	٠,٢٩	٠,٧٢	١	١,٥٢	٥,٢	٩,٥٢	١٩,١٦	٢٩,٩٩	٣٩,٣٧

أفراد الأسرة الشمسية:

تطورت المعرفة بأفراد المجموعة الشمسية في السنين العشر الأخيرة تطوراً عظيماً. وذلك بفضل أدوات الرصد الفلكية واستخدام الرادار والراديو تيليسكوب وأنواع من الإشعاعات غير المرئية والصواريخ والسفن الفضائية. وقد أمكن تجميع الكثير من المعلومات الحديثة التي غيرت كثيراً من المعتقدات والمفاهيم القديمة عن خصائص أفراد الأسرة الشمسية. فكوكب الزهرة على سبيل المثال الذي كان يعتقد أنه ككوكب الأرض وفير المياه تبين أنه يخلو منها. وعطارد الذي كان يظن لزمن طويل أنه يواجه الشمس بجانب واحد تلهبه أشعتها بينما الجانب الآخر المظاهر لها مظلم قارس البرودة، اتضح أنه يولي الشمس جانبه المظلم أيضاً. والمريخ موطن الجنس الذكي البارع في بناء القنوات كما اعتقد لويل **P. Lowell** وتابعوه في بداية هذا القرن، تبين أنه لا يحوي من القنوات المائية شيئاً، وليس به ما يدل على وجود ماء جاري، أو أي شيء يمكن أن يلائم وجود حياة كالتي نعرفها على الأرض.

وفي خلال الفترة بين عامي ١٩٦٣ - ١٩٧٣ نجح السوفييت في الوصول إلى جو الزهرة الكثيف ثلاث مرات، كما تكمن الأمريكان من إرسال سبع سفن فضاء اقتربت اثنتان منها من الزهرة وثلاث من المريخ وواحدة من المشترى، والأخيرة من عطارد (في نوفمبر ١٩٧٣). هذا عدا الرحلات الآدمية الأمريكية والآلية السوفييتية الموفقة التي وصلت إلى القمر. وتهدف برامج الفضاء الأمريكية والروسية في خلال السبعينات وأوائل الثمانينات للوصول آلياً (بدون آدميين) إلى كل من الكواكب التسع السيارة، وذلك بغرض إلتقاط الصور وقياس الحرارة والضغط والإشعاعات والمغناطيسية

وغير ذلك من الظواهر والخصائص التي تميز الكواكب وأجواءها، كما تهدف في حالة المريخ إلى البحث عن شواهد للحياة على سطحه.

ومن أهم المسائل التي ترمي إليها برامج الفضاء ما يلي:

١ - كيفية نشأة النظام الشمسي وتطوره ونموه.

٢ - كيفية بدء الحياة، وإمكانية وجود حياة من أي نوع على الكواكب الأخرى عدا الأرض.

٣ - التعرف على المراحل الغامضة من تاريخ الأرض، لكي يسهل حل المشكلات التي تختص بمختلف بيئاتها.

ولا شك أن إماطة اللثام عن أسرار المجموعة الشمسية سيلقي أضواء تهتدي بها أفكار العلماء، وتنير السبيل أمامهم لمحاولة تفهم الظواهر الأرضية الغامضة.

الشمس:

هي كرة هائلة الحجم تتكون من غازات ملتهبة. ويبلغ قطرها نحو ١,٣٨٠,٠٠٠ كم، وهو ما يعادل قطر الكرة الأرضية بأكثر من مائة مرة، وحجمها قدر حجم الأرض مليون مرة. وتقدر درجة حرارة سطح الشمس بنحو ٧٠٠٠°م، أما درجة حرارة مركزها فتصل إلى نحو ٣٠ مليون درجة مئوية. وتندلع منها ألسنة نارية تشاهد في وقت الكسوف الكلي للشمس، ويندفع لهيبها في الفضاء بسرعة تقدر بنحو ٤٠٠ كم في الثانية. ومن هذه الكتلة تشع الحرارة باستمرار فتصل إلى الأرض. ولكن مقدار ما يستطيع الوصول إلى الأرض من الإشعاع الشمسي لا يزيد عن ١ : ٢ مليار منه، أما

الباقي فتمتصه الغازات في طبقات الجو العليا. ورغم ضآلة هذا القدر فإنه كاف لأن تقوم الحياة على وجه الأرض، ويتألف جرم الشمس من عنصرين أساسيين هما الايدروجين والهليوم فهما يكونان معاً ما يزيد على ٩٩,٩٪ من كتلتها، إذ تبلغ نسبة وجود الايدروجين نحو ٨١,٧٥٪ والهليوم ١٨,١٧٪.

والشمس بالنسبة لسكان الأرض أبهى وأهم نجم في الكون، وهي تهيمن على كل أفراد أسرتها. فكل الكواكب تتحرك في مداراتها تحت تأثير جاذبيتها، ومن أشعتها تنبعث الطاقة التي هي مصدر كل حركة وحياة على سطح الأرض. وتقسم الأشعة الشمسية حسب أطوال موجاتها إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

١ - أشعة غير مرئية: ومعظمها أشعة حرارية، وتبلغ حصتها نحو ٥١٪ من مجموع الإشعاع الشمسي. ويتفاوت طول موجاتها بين ٠,٨ - ٠,٩ ميكرون.

٢ - أشعة مرئية: ويتراوح طول موجاتها بين ٠,٣ - ٠,٨ ميكرون. وهي التي تسبب الضوء. وتبلغ نسبتها ٣٧٪ من مجموع الأشعة الشمسية.

٣ - أشعة فوق بنفسجية: وهي تشارك بنسبة ١٢٪ من جملة الأشعة الشمسية، ويتراوح طول موجاتها بين ٠,١ - ٠,٤ ميكرون. ولا يصل منها إلى سطح الأرض إلا قدر ضئيل للغاية، نظراً لأن غاز الأوزون يحتجز معظمها على ارتفاع يتراوح بين ٣ - ٥ كم، حيث تختلط بالأشعة الزرقاء، فتبدو السماء بلونها الأزرق المعروف.

الكواكب:

هي أجرام صخرية معتمة لا تضيء بنفسها، وإنما تستمد نورها من الشمس، وهي كما رأينا تختلف عن بعضها في الحجم والكثافة والكتلة والبعد عن الشمس.

عطارد **Mercury**:

هو أصغر الكواكب وأقربها إلى الشمس. ويشتد عليه الإشعاع الشمسي نظراً لقربه من الشمس، إذ تبلغ شدته عليه خمسة أمثال شدته على الأرض حينما يكون في نقطة الذنب من مداره حول الشمس، وعشرة أمثالها عندما يكون في نقطة الرأس. وتصل درجة الحرارة عند خط استوائه إلى نحو ٣٤٥°م، ولكنها تهبط أثناء ليله الطويل إلى- ١٨٥°م. ومن الواضح أنه غير مغلف بجو كالجو الذي يتمتع به كوكبنا كدرع يحميه من الإشعاع الشمسي. ونظراً لأن جاذبيته منخفضة (ثلث جاذبية الأرض) وحرارته مرتفعة، فإن ذرات معظم الغازات لا بد وأنها كانت تتحرك بسرعة وتهرب منه إلى فضاء المجموعة الشمسية.

ولم يستطع الفلكيون رؤيته حتى الآن بوضوح حقيقي على الرغم من أنه قريبٌ نوعاً من الأرض. ويبقى الكوكب قريباً من الشمس في مداره الصغير نسبياً لدرجة أن وهج الشمس يبتلعه في معظم الأحيان فلا يبين للعين المجردة. ويمكن رؤيته أحياناً من الأرض لفترة قصيرة في المساء عقب غروب الشمس مباشرة، أو في الصباح (كنجم إصباح سماه القدماء أبوللو) قبل الفجر مباشرة، ولكن جو الأرض الكثيف المترب غالباً ما يحجبه عند الأفق. ولنفس الأسباب التي تجعل رؤيته متعذرة نجده صعب التصوير أيضاً.

وقد اعتقد الفلكيون الذين كانوا ينتظرون بصبر رؤية بعض مظاهره ويرسمون قليلاً من العلامات المشرقة والمظلمة التي كانوا يظنون رؤيتها، أنه يواجه الشمس بجانب واحد باستمرار. وكانت النظرية الشائعة خلال عشرات السنين أن دورتي عطارد متعاصرة بمعنى أنه يدور حول محوره في نفس الزمن الذي يستغرقه ليتم دورته حول الشمس. وفي عام ١٩٦٥ أعلن جوردون بتينجيل G. H. Pettengill في بورتوريكو أن دورة الكوكب حول محوره تتم في حوالى ٥٩ يوماً، وهذه المدة تعادل ثلثي الـ ٨٨ يوماً (مدة دورته حول الشمس) ويعني هذا أن عطارد يدور حول نفسه ثلاث دورات مقابل دورتين اثنتين حول الشمس، ولهذا فإنه كان يظهر للفلكيين بما يقرب من نفس الوجه ونفس العلامات في كل فترة من الفترات المتتالية التي يكون فيها الكوكب في أنسب مواقع الرؤية. فسنة عطارد إذن تساوي ٨٨ يوماً أرضياً، ويومه النجمي (كما يرى من النجوم) يعادل ٥٨,٦٥ يوماً أرضياً. أما يومه الشمسي (من الظهر إلى الظهر، أو من منتصف الليل إلى منتصف الليل) فهو بالضبط ضعف طول سنته أي ١٧٦ يوماً أرضياً.

وقد كان لمثل هذا النمط من الدوران حول المحور وحول الشمس في مثل هذا الفلك أثره الغريب في حركة الشمس الظاهرية بالنسبة لعطارد، فلو كنت على هذا الكوكب في وقت الفجر، وكان هو في نقطة الرأس من مداره، فإنك ترى الشمس تشرق وتبقى معلقة في السماء لوقت قصير، ثم تغيب أسفل الأفق ثم تشرق مرة أخرى...

وتدل المعلومات القليلة التي جمعتها سفينة الفضاء الأمريكية (في نوفمبر ١٩٧٣) عن طبيعة سطح عطارد على أنه يشبه سطح القمر، إذ يقال بوجود فوهات بركانية تحيط بها هوامش مرتفعة، كما تكتنفه حفر كونية. ونظراً لقرب مدار الكوكب من الشمس، فإن وهجها يعرقل رؤية الراصد من على

الأرض، ولهذا لا يرى من سطحه إلا النذر اليسير، ولكن الرادار يشير إلى وجود مساحات كبيرة من الأرض الوعرة. ويبقى بعد ذلك أن نشير إلى أن كل الشواهد تدل على انعدام الحياة عليه، فهو لا يحوي شيئاً من الشروط الملائمة لها.

الزهرة Venus :

تمكن العلماء من كشف النقاب عن كثير من أسرار هذا الكوكب بالاستعانة بأجهزة الرادار الحساسة، وبالمعلومات التي أرسلتها سفن الفضاء الروسية فينيرا ٤ Venera في أكتوبر عام ١٩٦٧، وفينيرا ٥ و ٦ في مايو ١٩٦٩، ثم أخيراً فينيرا ٩ و ١٠ في عام ١٩٧٥ وسفن الفضاء الأمريكية مارينر ٢ Mariner 2 في ديسمبر ١٩٦٢، ومارينر ٥ في أكتوبر ١٩٦٧، وما تلا ذلك من سفن من نفس النمط حتى هذا العام (١٩٨٠). وبدأ العلماء يعرفون الشيء الكثير عن أسباب قحولته وانعدام الحياة عليه.

ومفتاح السر يتمثل في جوه الذي يعتقد أنه يحتوي على ٩٥٪ من ثاني أكسيد الكربون الذي يمارس ضغطاً يعادل ١٠٠ ضغط جوي، أي قدر ضغط الغلاف الجوي الأرضي مائة مرة. وإذا عادلناه بضغط المياه نجده يساوي ضغط ٠,٨ كم من مياه البحر أسفل سطحه. ويعتقد أن هذا الغلاف الجوي الكثيف الثقيل قد سحق الأجهزة التي أسقطتها بالمظلات سفن الفضاء الروسية كقشور البيض حينما كانت ما تزال على بعد ٢٥ كم أو نحوه من سطح الزهرة.

ويبلغ ارتفاع طبقات سحب الكوكب السميكة نحو ٥٦ كم (على الأرض نادراً ما يرتفع السحاب لأكثر من ١٦ كم). وهي تحجب قسماً كبيراً من ضوء

الشمس. وتبعثر الذرات والجزئيات في هذا الجو الشديد الكثافة ضوء الشمس كما يفعل الضباب على الأرض، فيبدو مغلفاً بما يشبه العاصفة الترابية. ولهذا الغلاف السميك الثقيل تأثير آخر، فهو يأسر الطاقة الشمسية ويساعد على نشوء فرن عظيم القيظ ليس له مثيل على أي كوكب آخر. فالطاقة الشمسية تنفذ خلال السحب ويمتصها السطح، ثم يشعها كموجات حرارية طويلة. وكان من الممكن أن يهرب كثير من هذه الحرارة إلى الفضاء فيبرد الكوكب لولا وجود هذا الجو الكثيف الذي يوقف تسربها كما يفعل الزجاج في حظائر الزرع الزجاجية. ويرى البعض أنه ينبغي البحث عن علة أخرى مساعدة، فهذا التفسير غير كاف لتعليل حرارة الكوكب العظيمة الارتفاع. فهي عند خط الاستواء تبلغ نحو ٥٧٠° م. ومن المحتمل أنها لا تهبط عن ذلك كثيراً عند قطبه نظراً لأن الحرارة يسهل توصيلها بواسطة هذا الجو الكثيف. وفي مثل هذه الدرجات الحرارية يمكن أن ينصهر الرصاص والقصدير والزنك، كما يمكن أن يتبخر عدد من المركبات الكيماوية.

وتدل الشواهد على أن كمية بخار الماء في الطبقات العليا من جو الزهرة صغيرة للغاية لا تزيد على واحد في الألف من كمية بخار الماء في جو الأرض. ولا تزال مسألة ما إذا كان جو الزهرة يحوي ذرات مائية أو بلورات ثلجية أو دقائق ترابية محل جدال بين العلماء. ويقترح البعض وجود مركبات من الزئبق وشكل من كلوريد الحديد الذي قد يفسر اللون المصفر الذي يميز مظهر هذا الكوكب. ونشير هنا إلى أن الطبقة العليا من جو الزهرة منخفضة الحرارة (- ٢٧ م)، ويظن أن الطبقة الوسطى ذات حرارة محتملة، بينما الطبقات السفلى شديدة القيظ.

وقد أمكن مؤخراً اكتشاف سلسلة جبلية منخفضة فوق سطح الزهرة،

ولكن يعتقد أنه عموماً هين الانحدار جداً. ووجد أن البقع المشرقة التي تظهرها صور الرادار تدل على أجزاء وعرة من سطحه، ولا تشترط دلالتها بالضرورة على مناطق شاهقة الارتفاع.

وقد تضاربت الأقوال خلال القرون عن فترة دورة الزهرة حول نفسها، لكن أحداً لم يستطع الجزم بها نظراً لعدم إمكانية رؤية سطح الكوكب. وقد أثبتت الأدلة المستقاة من أجهزة الرادار أنها تدور حول محورها مرة كل ٢٤٣ يوماً. وقد أدهش الرّادار الفلكيين في عام ١٩٦٢ حينما اكتشف أنها تدور حول نفسها في إتجاه عقارب الساعة بدلاً من العكس كما تفعل الكواكب المجاورة لها. وبسبب هذه الدورة العكسية البطيئة، وبسبب دورتها في فلكها حول الشمس في ٢٢٥ يوم، فإن الزهرة «ترى» الشمس تشرق في الغرب كل ١١٧ يوماً أرضياً.

ولا تستطيع أي من الكائنات المعروفة على الأرض أن تعيش على وجهها الحار،، فليس هناك ماء بحالته السائلة يجري عليها، فلا بد من وجوده على الأقل كعامل رئيسي في نشوء حياة أرضية. ومع هذا فالزهرة بالنسبة للأرض أبهى كوكب وأجمله وأكثره إضاءة بعد الشمس والقمر. وهي تلقي بنورها الخافت في الليالي المظلمة على وجه الأرض حين يغيب عنها قمرها المضيء.

الأرض Earth :

نحن نعيش على الأرض الطيبة، ونعرف الكثير عن خصائصها ومميزاتها. وهي الكوكب الوحيد المحظوظ الذي سعد بظروف جوية و «أرضية» لاءمت سكني الإنسان العظيم. لكن كيف يبدو هذا الكوكب من بعيد؟ كيف يبدو لرجل الفضاء ولأجهزة سفينة فضائية من كوكب آخر؟ وما هي

المعلومات التي يمكن أن تسجلها أجهزة السفينة بعد رسوها على سطح كوكبنا؟ يمكنك أن تتصور تسجيلاً مبدئياً لملاحظات مجملة ومختصرة على النحو الآتي:

كوكب فريد في لونه، يضرب إلى البياض والزرقة. الماء يغطي ٧١٪ من سطحه. كتل من السحب تنتشر في شكل حلزوني تحجب الرؤية؛ الجو: ٧٨٪ نيتروجين، ٢١٪ أوكسجين، ١٠٪ أرجون وثاني أوكسيد كربون وغازات أخرى، بخار الماء متفاوت النسبة، يحوي قليلاً جداً من الهيدروجين والهليوم. الضغط الجوي ١٤,٧ رطلاً لكل بوصة مربعة. الجو وبخار الماء يحجزان جزء من إشعاع الشمس التي تبعد عن الكوكب بنحو ١٤٩ مليون كيلومتر. للكوكب جاذبية. كثير من النبازك والشهب تصل إلى جوه، معظمها يحترق قبل اصطدامه بسطحه.

سطح الأرض مركب أساساً من السليكات، شكّله الماء الجاري والرياح، سهل في بعض المناطق، وعر في مناطق أخرى حيث يتميز بمرتفعات شديدة الانحدار. القشرة تهز، وتنفتح وتخرج مواد منصهرة. لا بد وأن الحرارة شديدة أسفلها. التغيرات الحرارية قرب السطح معتدلة. أكثر الجهات برودة عند القطبين حيث توجد مياه متجمدة، النهاية الصغرى - ٨٨°م، أكثر الجهات حرارة عند دائرة الاستواء، النهاية العظمى ٥٧° م.

الحياة وفيرة، مزارع كثيرة تعتمد على الماء السائل، وفي معظم الحالات على الأوكسيجين، للنبات تغيرات فصلية، السبب أن الكوكب يميل أولاً بنصفه ثم بعد ذلك بالنصف الآخر تجاه الشمس أثناء مداره حولها الذي يستغرق ٣٦٥ يوماً. الدورة حول المحور تتم في ٢٤ ساعة. له قمر واحد، يبعد عنه بنحو ٣٨٤٣٩٥ كم.

المريخ Mars :

هو الكوكب الأحمر، كوكب الدم والحرب، يمثل رمزه الدرع والرمح. له قمران صغيران يحملان إسمي تابعي إله الحرب: فوبوس Phobos (الرعب) ودايموس Deimos (الهول). كانت المعلومات عن المريخ قبل عصر الفضاء الذي نعيش فيه الآن تستقي من المشاهدة من خلال المناظير المقربة. وعن طريقها ظن الكثيرون أنه يشبه الأرض شبهاً عظيماً. فقد كان الكوكب الوحيد الذي تمكن رؤية سطحه بوضوح نسبي. ولا يتعدى يومه الشمسي يومنا الأرضي بسوى ٤٠ دقيقة، ولا يزيد ميل محوره بالنسبة لفلكه إلا بمقدار درجتين فقط عن ميل محور الأرض بالنسبة لمدارها حول الشمس. ولهذا فإن التغيرات الفصلية متشابهة في كليهما. وتبين أن له غلافاً رقيقاً، وأن حرارة الظهيرة عند دائرة استوائه تماثل الحرارة على الأرض في يوم من أيام الربيع. وشوهدت قلنسوات جليدية قطبية كالموجودة على قطبي الأرض، ظُنّ أنها مياه متجمدة تنمو وتتسع وتتضاءل وتنكمش بتغير الفصول. واعتبر بعض الفلكيين أن «موجة الظلام» التي تشاهد في الربيع ما هي إلا نبات ينمو مع تيار رطب يأتي من أقاليمه القطبية. وشوهدت خطوط غائرة مستقيمة اعتقد أنها قنوات مائية قامت بشقها كائنات حية عاقلة ذكية.

وقد أطاحت بهذه المعتقدات أربع رحلات قامت بها سفن الفضاء الأمريكية مارينر ٤ في عام ١٩٦٤ - ١٩٦٥، ومارينر ٦، ٧ في عام ١٩٦٩ ومارينر ٩ في نوفمبر ١٩٧١. فقد تبين من الصور التي التقطت لما يقرب من ٣٠٪ من سطح المريخ ومن مختلف الدراسات الإشعاعية أن الكوكب يختلف كثيراً عن الأرض وعن الكواكب الأخرى. وقد تبين أن جو المريخ يتألف أساساً من ثاني أوكسيد الكربون، وأن كثافته وضغطه يعادلان نحو ١٪ من

كثافة وضغط جو الأرض. ولا بد لك أن تحلق في جو الأرض إلى ارتفاع لا يقل عن ٣٠ كم حتى تصادف جواً في مثل رقة جو المريخ.

ولا يمكن لمثل هذا الغلاف الجوي أن يحمي المريخ إلا قليلاً من إشعاعات الشمس، خصوصاً أشعتها فوق البنفسجية التي تستطيع أن تقتل على الفور أي كائن حي ما لم تتوفر له الحماية منها. فلو كانت هناك حياة من أي نوع على المريخ، فإنه يلزم أن تتمتع بنوع أو بآخر من الوقاية منها. ولا بد لها أيضاً أن تتحمل التغيرات الحادة السريعة في درجات الحرارة. فحرارة الظهيرة عند خط استوائه قد تصل إلى ٢٦° م، لكنها تهبط ليلاً إلى - ١٠٠°م. وينبغي للحياة على المريخ - إن وجدت - أن تسير بدون مياه، فليس هناك حتى الآن ما يشير إلى وجود ماء جار على سطحه. وهو يبدو أكثر جفافاً من أية صحراء أرضية قاحلة. ومع هذا فإن البعض يعتقد بوجود ماء في صورة جليد دائم أسفل السطح بعدة ديسيمترات. يضاف إلى ذلك إحتواء جو المريخ على كمية صغيرة من بخار الماء. وعلى الرغم من أن الضباب الخفيف الذي يبدو معلقاً في جوه قد يكون مكوناً من حبيبات دقيقة من ثاني أوكسيد الكربون المتجمد، إلا أنه يظن أن البقع الساطعة خصوصاً عند نطاقه الاستوائي قد تكون ضباباً مكوناً من مياه ثلجية أو من سحب أو حتى من صقيع سطحي.

وتشير كل الاحتمالات إلا أن القلنسوات القطبية تتكون من جليد جاف (ثاني أوكسيد كربون متجمد) مع كمية صغيرة من الثلج المائي. وحينما تدفأ في الربيع فإنها لا تذوب وإنما تتمياً أوْ تتبخر. ولا يحتمل وجود ماء كاف لنمو النبات الذي قد يسبب مظهره ما يعرف، «بموجة الظلام». ويعتقد علماء الأحياء أن مثل هذه الظروف لا تناسب الحياة، فإذا صح ووجدت حياة على المريخ فينبغي أن تكون بدائية جداً كالبكتريا، أما فكرة وجود

نبات أو حيوان فإنها مستحيلة، ولا يمكن القطع بوجود حياة عن طريق مثل هذه السفن الفضائية السيارة، ولهذا خطط برنامج الفضاء الأمريكي لإرسال سفينة رست على سطح المريخ في عام ١٩٧٩ تسمى فايكنج Viking، والتقطت أجهزتها عينات من تربته وفحصت إمكانية وجود حياة عليه، بلا جدوى...

ويبدو من كل الصور التي التقطتها مارينرو فايكنج لسطح المريخ أن منحدراته سهلة جداً، هذا على الرغم من أن الفرق الرأسي بين أدنى نقطة وأعلى نقطة عليه يبلغ زهاء ١٣ كم. ولكن التغير بين ارتفاع وانخفاض يحدث بصورة تدريجية. ولا يحوي السطح مظاهر لانكسارات ضخمة أو سلاسل جبلية عظيمة أو حقول بركانية فسيحة، بل الواقع أنه لا يوجد دليل على وجود نشاط بركاني.

وهناك ثلاثة أنماط رئيسية من مظاهر سطح المريخ توضحها الصور التي التقطتها سفن الفضاء:

النمط الأول يتمثل في الفوهات، «الكونية» التي تظهر بوضوح كشبيهاتها على سطح القمر، ولكنها تختلف عنها في العمق والاتساع، فقيعانها منبسطة جداً وهوامشها مصقولة.

النمط الثاني: يخلو من الفوهات «وهو يدعى بالنمط المشوش» نظراً لأن سطح المريخ يبدو حينئذ غير منتظم تكتنفه الحافات القصيرة الأمد والأخاديد والحفر المستطيلة الغائرة في مساحة تبلغ ١,٣ مليون كيلومتر مربع.

النمط الثالث: يتمثل في صحراء هيلاس Hellas (تسمية خاطئة ما دام كل المريخ صحراء). وهنا نجد السطح متجانساً عديم المظاهر فوق حوض عظيم منبسط يبلغ اتساعه قرابة ١٩٠٠ كم، ونادراً ما تشاهد عليه فوهة.

ومثل هذا لا نجده على سطح القمر، لكنه أحياناً يشبه السهول العظيمة على وجه كوكب الأرض. ويرى بعض العلماء أن عدم ظهور الفوهات في سهل هيلاس وظهورها في المناطق الأخرى، ومنها منطقة هيليس بونتوس Hellespontus التي تقع إلى الغرب منه، يرجع إلى أن السهل يتكون من مواد مفككة ودقيقة يسهل على رياح المريخ التي قد تصل في سرعتها أحياناً إلى ١٦٠ كم في الساعة أن تحركها وتملأ بها الفوهات الكونية ومن ثم تخفي معالمها.

وقد تبين من دراسة صور المريخ أيضاً انعدام وجود القنوات التي كان يظن قديماً أنها ترع للري، وظهر أنها مجرد سلاسل من الفوهات الكونية ذات قيعان داكنة أو نطاقات مستطيلة داكنة اللون من أرض المريخ، اللون الأحمر الذي يظهر به المريخ من بعيد فيعزوه البعض إلى وجود معاد حديدية تحتويها تربته. بينما يعتقد البعض الآخر أن انعكاس أضواء الطيف المريخي يماثل ما يحدث حينما يصطدم الإشعاع فوق البنفسجي بغاز غير شائع الوجود وكريه الرائحة يعرف باسم «شبيه أوكسيد الكربون» Carbon Suboxide، إذ تتكون حينئذ سلاسل ذرّية ذات لون برتقالي أو بني محمر. ومن ثم فإن هذا الغاز في اعتقادهم هو المسئول عن اللون الأحمر الذي يظهر به هذا الكوكب.

الكويكبات **Asteroids**:

في أول يناير من عام ١٨٠١ اكتشف فلكي إيطالي يدعى بيازي G. Piazzi جسماً كونياً خلف مدار المريخ حيث كان يبحث عن «كوكب مفقود» اعتقد بوجوده هناك. وقد عرف هذا الجسم باسم سيرس Ceres. وكان أول وأكبر جرم من مجموعة الأجرام التي تعرف باسم الكويكبات،

والتي تحيط بالشمس في نطاق عريض يبلغ اتساعه نحو ٢٤ مليون كيلومتر، فيما بين مداري المريخ والمشترى. وكويكب سيرس عبارة عن كرة عديمة الحياة يبلغ قطرها نحو ٧٧٠ كم، وهي من الكبر بحيث يمكن تسميتها بكويكب، ومثلها عدد آخر قليل مثل بالاس Pallas وجونو Juno وفيستا Vesta . ولكن الغالبية العظمى عبارة عن أجسام صغيرة لا يزيد قطرها على كيلومتر واحد، بالإضافة إلى عدد لا يحصى من الأجسام التي يتناقص حجمها إلى حجم حبيبات الغبار، وقد أمكن إحصاء نحو ١٠٠,٠٠٠ من هذه الأجسام المتفاوتة الحجم، بواسطة منظار مقرب يبلغ قطره ٢٠٠ بوصة (٥٠٨ سم). ولا يشاهد منها بالعين المجردة سوى الكويكب سيرس. وإذا جمعت هذه الكويكبات كلها في جرم واحد لما بلغ ١ من ألف من جرم الأرض. وقد أمكن رؤية نحو ألفين منها بوضوح وأطلقت عليها أسماء وأرقام معينة، وكثير منها يحمل أسماء من الأساطير والخرافات القديمة، وبعضها يسمى بأسماء الفلكيين المشاهير أمثال كيبلر Kepler وهيل Hale، أو بأسماء زهور مثل بيجونيا Begonia وكروكس Crocus، أو بأسماء مدن مثل يالتا وشيكاجو، أو بأسماء نساء مثل شيبا ومارلين ديتريش الممثلة الشهيرة.

ومن السهل افتراض أن الكويكبات ما هي إلا حطام كوكب انفجرت وتناثرت أجزاؤه، ولكن العكس قد يكون أصح فالعالم توم جيريلس Tom Gehrels الذي اشتغل فترة طويلة بالمسائل الخاصة بنشأة المجموعة الشمسية، يعتقد أنها أحجار بناء للنظام الشمسي، ويرى أنها جزء من السديم أو السحابة الترابية الهائلة التي منها- حسب رأيه- قد تكاثفت الشمس والكواكب منذ ٥ مليار سنة، فهي غبار اندمج ببعضه.

وبينما يبقى معظم هذه الأجرام مرتبطاً بنطاق الكويكبات فإن

بعضاً منها يطير قريباً من كوكبنا. ويتحرك إيكاروس Icarus على بعد ٣٩٣ مليون كم من الشمس، ولكنه في كل ٤٠٩ يوماً حينا يكون في نقطة الرأس من مداره يصبح على بعد ٢٧ مليون كيلومتر فقط من الشمس، فيبدو جسمه الذي يبلغ قطره ٠,٨ كم أشبه بجمرة حمراء متوهجة. وهو يحمل اسم الصبي الذي تذكره الخرافات الإغريقية بأنه طار بأجنحة ألصقها بجسمه حتى اقترب كثيراً من الشمس فأحرقته. وفي يونيو عام ١٩٦٨ مرّ إيكاروس على بعد ٦,٤ مليون ميل فقط من الأرض. وفي عام ١٩٣٧ اقتربت كتلة أخرى هي هيرمس Hermes (قطرها ٣٠٥ م) من الأرض. وأصبحت منها على بعد ٨٠٠,٠٠٠ كم فقط. وفي أغسطس من عام ١٩٦٩ وصل كويكب جيوجرافوس Geographos الذي اكتشف في عام ١٩٥٢ على بعد ٨,٩٦ مليون كم من الأرض. وهو يبدو بشكل السيجار ويبلغ طوله ٤ كم وعرضه ٠,٨ كم.

وتشهد الفوهات الكونية الكبيرة على سطح القمر بما يحدث حينا تفلت مثل هذه الكتل الصخرية الضخمة من نطاق الكويكبات وتصطدم بجرم سماوي آخر. ويتفق العلماء عموماً على أن بعض أشباه الشهب ما هي إلا أجزاء من نطاق الكويكبات، هذا على الرغم من أن بعضها ما هو إلا حطام المذنبات. وقد وصل الأمريكان إلى نطاق الكويكبات في نهاية عام ١٩٧٢ بسفينة فضاء يسمونها بيونير Pioneer في أثناء رحلتها إلى كوكب المشترى. واستغرقت الرحلة حتى الوصول إلى الكويكبات نحو ١٤٠ يوماً.

المشترى Jupiter :

لا يعرف الكثير عن المشترى وما عرف عنه يجعله أكثر الكواكب إثارة للدهشة، فهو يمثل «عينة» خاصة من المصدر الذي نشأت عنه المجموعة

الشمسية. ويظهر أن انخفاض الحرارة في هوامشه الخارجية (يتلقى ١/٢٧ من الإشعاع الشمسي الذي يصل للأرض نظراً لبعده الكبير عن الشمس) وقوة جاذبيته المرتفعة (مرتين ونصف مرة قدر جاذبية الأرض) قد منعت الغازات الأصلية من الهروب منه.

ويعتبره العلماء «شبه نجم». ويقال إنه لو كان أكثر اندماجاً بقليل منه حالياً لأمكن للانكماش المركزي أن يطلق طاقة تحوله إلى فرن نووي كالشمس أو أي نجم آخر فيصبح متوهجاً.

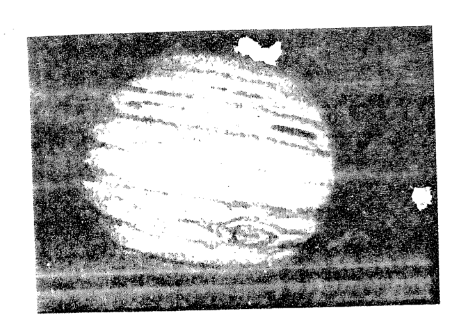
وفي غلافه الجوي السميك يحدث شيء غير عادي: فالكوكب العملاق (محيطه ٤٠٠,٠٠٠ كم) يطلق طاقة تفوق الطاقة التي يكتسبها من الشمس بمعدل المثلين إلى الثلاثة أمثال. والسبب غير معروف تماماً وإن كان البعض يقترح الجاذبية المركزية علة لذلك. ويعتقد بعض العلماء أن الحرارة تزداد باستمرار من-° ١٣٠°م عند الهامش الخارجي لغلافه الجوي إلى نحو ٢,٠٠٠٫١٠°م عند مركزه الباطني. وينفث المشترى إنفجارات عشوائية من طاقة إشعاعية كثيفة ذات موجات طويلة لم يعرف كنهها على وجه الدقة بعد. وهو يعتبر أقدر أفراد المجموعة الشمسية، باستثناء الشمس، إطلاقاً للاشعاعات. وترتبط هذه الطاقة الإشعاعية بمغناطيسيته القوية، وبما يعرف بالنطاقات الإشعاعية أو نطاقات الذرات المشحونة في جوه، وهي شيء غير معروف في الكواكب الأخرى عدا الأرض.

ويتألف جو المشترى أساساً من الهيدروجين والهليوم، وهذا قد يفسر السبب في أن كثافة المشترى منخفضة (ربع كثافة الأرض). وكان من مهام سفينة الفضاء بيونير «ف» (١٩٧٢) ومن بعدها بنحو عام (١٩٧٣) بيونير «ج» تقرير نسبة كل من الهيدروجين والهليوم. ويكون هذان الغازان،

وهما أبسط وأخف العناصر الكيماوية، نحو ٩٩٪ من الكون. وتساعد نسبة وجودهما في جو المشترى في تقرير ما إذا كان الكوكب العملاق حفرية حية من النظام الشمسي أم لا. ويوجد غاز الميثان والنوشادر بنسب أصغر في جوه. وهما مركبان بسيطان، ينشأ الأول من اتحاد الهيدروجين مع الكربون والثاني من اتحاد النيتروجين مع الكربون.

وتسبح في أعالي جو المشترى مجموعات هائلة من السحب يظن أنها تتألف من مركبات النوشادر المتجمدة والسائلة، وهي تدور في سرعة الدوامة الهوائية، ولونها أصفر، وقد تضرب أحياناً إلى الزرقة أو إلى اللون الرمادي أو البني. وأهم ظاهرة تشاهد من الأرض بوضوح تلك البقعة الحمراء الضخمة التي تعتبر أغرب الظواهر في المجموعة الشمسية كلها، وهي تقع في نصفه الجنوبي، وتبلغ مساحتها أكثر من مساحة الكرة الأرضية جميعها. وتبدو بشكل بيضاوي، وتظهر وكأنها «طافية» بين السحب. ويعتقد أنها نوع من الدوامات في غلافه الجوي يسببها انخفاض جوي دائم.

وعلى الرغم من أن قطر المشترى أطول من قطر الأرض ١١ مرة، وحجمه قدر حجم الأرض ١٣٠٠ مرة، وقدر حجم الكواكب مجتمعة مرة ونصف مرة، فإن سرعة دورانه حول محوره أكثر من ضعف سرعة دوران الأرض، فهو يتم دورة كاملة حول نفسه في أقل من عشر ساعات، ولهذا لا نعجب حين نرى الكوكب ينتفخ أو ينبعج عند دائرة استوائه وينبسط عند قطبيه. وقد ندهش حين نعلم أن المشترى الآن هو أصلح بيئة من الأرض ومن أي كوكب آخر لبدايات الحياة. فالعلماء يرون أن الحياة البدائية قد ظهرت في أغلب الظن في جو من الايدروجين والميثان والنوشادر والماء، كما كان الحال على الأرض منذ ٤,٥ مليار سنة، وهم لذلك يعتقدون أن نوع الجو هذا هو جو المشترى في وقتنا الحالي.



شكل (٨) كوكب المشترى: لاحظ البقعة الحمراء الضخمة في نصفه الجنوبي.

وللمشترى ١٢ قمراً، منها ثلاثة كان جاليليو أول من رآها وهي: جانيميد Ganymede وهو أكبر حجماً من عطارد، وكاليستو Callisto أكبر من قمر الأرض، وأوربا Europa وحجمه خمس حجم الأرض. وقد خطّط برنامج الفضاء الأمريكي لإرسال سفينتي فضاء آليتين (في أواخر السبعينات) في رحلتين كبيرتين «Grand Tours» إلى الكواكب الخارجية البعيدة، وستستفيدان من فرصة لا تسنح إلا كل ١٧٥ سنة مرة، حينما تصطف الكواكب الخارجية متقاربة نسبياً على امتداد قوس يشبه عقد اللؤلؤ المنظوم. وستقصد كل من السفينتين (زنة كل منهما ١٣٠٠ رطل) كوكب المشترى في البداية، حيث تستفيد من قوة جاذبيته الضخمة التي ستعمل على تحويل مسارها إلى الكوكب التالي حيث تتكرر العملية. ويرجى للرحلة الأولى التي بدأت في بداية عام ١٩٧٧ أن تصل إلى المشترى (وصلته في أوائل مارس ١٩٨٠ بعد مُضيّ ٣٧ شهرا من إقلاعها) وزحل وبلوتو،

وستستغرق ٨,٥ سنة بدلاً من ٤٠ سنة كان من الممكن أن تستغرقها ما لم تستفد من جاذبية الكواكب. أما « الرحلة الكبرى » الثانية فقد بدأت في عام ١٩٧٩ لتصل إلى المشترى أيضاً ومنه إلى أورانوس ونبتون وتستغرق ٩ سنوات.

زحل Saturn :

ينتمي كوكب زحل لأسرة فرعية تدعى « أسرة المشترى » وتشمل، عدا المشترى وزحل، كوكبي أورانوس ونبتون. وتدور كل أفراد هذه الأسرة حول محاورها بسرعة هائلة، ويحيط بكل منها غلاف جوي كثيف يتركب من عناصر أخف بكثير من عناصر جو الأرض. ويقدر حجم زحل بنحو ٧٤ مثلاً لحجم الأرض، ولكن كتلته تبلغ قدر كتلة الأرض ٩٥ مرة نظراً لأن كثافته منخفضة. ويحيط به غلاف جوي يتألف من غازات الايدروجين والهليوم والميثان، وهو يمتص جزء من الإشعاع الشمسي. وهو يشبه المشترى في وجود نطاقات داكنة وأخرى فاتحة تشاهد من حوله، لكنها أقل من نطاقات الكوكب العملاق وضوحاً وتغيراً.

ويتميز زحل بتلك الهالة التي تحيط به وتدور من حوله، وتسبح في مجالها أعداد هائلة لا تحصى من الجسيمات الصغيرة المتناثرة. وتتألف الهالة من أربع حلقات رقيقة يبلغ اتساعها الكلي نحو ٦٠٠٠٠ كم. والحلقتان الخارجيتان مضيئتان، بينما الحلقة الثالثة Grape Ring ضعيفة اللمعان، وهامشها الداخلي لا يبعد عن قرص زحل بأكثر من ١٦,٠٠٠ كم. ويفصل بين الحلقتين الخارجيتين مسافة (تسمى فاصل كاسيني Cassini Division) تقدر بنحو ٢٦٠٠ كم. وقد اكتشفت حديثاً حلقة رابعة هي أقرب الجميع إلى جرم زحل بل تكاد تصله. وهي باهتة جداً، وقد شاهدها في عام (١٩٦٩)

بيير جورين Pierre Guerin الفرنسي.

وتتألف الحلقات، كما أسلفنا، من أجسام منفصلة لا تحصى عدداً، هي في واقع الأمر توابع صغيرة تشبه أسراب النيازك. ومن الممكن أن تتصادم ببعضها منشئة لجو مغبر ملتهب يحيط بها. ويبلغ سمك الحلقات زهاء ٠,٨ كم. ويرى البحاث أن الحلقات ما هي إلا مواد كونية لم تسنح لها الفرصة للتلاحم وتكوين كوكب أو تابع، أو يحتمل أنها كانت كوكباً اقترب من زحل وتحطم في مجال جاذبيته. ويختص زحل بقمر من توابعه التسعة يتميز بأنه الوحيد من بين أقمار المجموعة الشمسية الذي يحيط به غلاف جوي، وهو المعروف باسم تيتان Titan الذي يبلغ قطره ٤٨٠٠ كم، وقد هبطت فوقه سفينه الفضاء الأمريكية بايونير ٢ في أوائل سبتمبر عام ١٩٧٩، بعد إطلاقها بنحو ٧٧

أورانوس Uranus :

يبلغ حجمه ٦٤ مثلاً لحجم الأرض. ويدور حول محوره مرة في أقل من ١١ ساعة، وحول الشمس مرة في كل ٨٢ سنة أرضية. ويميل محور دورانه حول نفسه عن الوضع العمودي بمقدار ٨٢°، أي أن الزاوية المحصورة بين محوره ومستوى فلكه (دورانه) حول الشمس مقدارها ٨° فقط، وذلك على خلاف كل الكواكب الأخرى التي تقترب محاورها من الوضع العمودي. وتبعاً لذلك يبقى أحد قطبيه منيراً مواجهاً للشمس أثناء نصف دورته حول الشمس، أي أثناء ٤٢ سنة، بينما القطب الآخر يبقى نفس المدة في الظلام.

ويبدو أورانوس من خلال المنظار الفلكي كقرص أخضر باهت. وتظهر في خضرته نطاقات داكنة نوعاً. ويعتقد أنه محاط بغلاف جوي

يتألف من الميثان والنوشادر والهليوم. وله خمسة أقمار تدور في اتجاه معاكس لدوران الكوكب حول الشمس أي من الشرق إلى الغرب.

نبتون **Neptune** :

هو أبعد الكواكب، باستثناء بلوتو، عن الشمس، وهو لذلك لا يتلقى من الاشعاع الشمسي سوى ٠,٠٩٪ مما تتلقاه الأرض منه، ومن ثم فإن حرارته منخفضة جداً (نحو - ٢٣٠°م). وتبلغ كثافته ربع كثافة الأرض تقريباً، وكتلته قدر كتلة الأرض ١٧ مرة. وهو محاط بغلاف جوي يشبه في تركيبه جو أورانوس، ويتبعه قمران.

بلوتو **Pluto** :

اكتشفه الفلكي الأمريكي كلايد تومبو **C. W. Tombaugh** في أوائل عام ١٩٣٠. شاهده من خلال المنظار الفلكي بعد حسابات فلكية معقدة ودراسة وفحص دام سبعة شهور لما لا يقل عن ٦ مليون صورة للأجرام السماوية. رآه كجسم يضرب إلى اللون الأصفر، ودرجة إضاءته ١/٤٠٠ من ضوء أضعف نجم يمكن مشاهدته بالعين المجردة. وسماه بلوتو، وهو لفظ يحمل الحرفين الأولين من اسم الفلكي Percival Lowell أول من نبه إلى احتمال وجوده، وأجرى له حسابات فلكية. والكوكب صغير وبعيد لدرجة أنه يصعب قياسه بدقة. لذلك فإننا لا نعرف عنه شيئاً سوى أنه يدور حول الشمس في ٢٤٧ سنة أرضية، كما أمكن التعرف على فترة دورته حول نفسه وقدرها ٦,٤ يوماً من ذبذبة ضوئه. ويبدو أنه لا يزيد حجماً عن المريخ، وله فلك شاذ يُدخله في مدار نبتون بل يجعله أقرب إلى الشمس من نبتون حينما يكون عند نقطة الرأس من مداره حول الشمس.

ولهذا وغيره يظنه بعض الفلكيين مجرد تابع هارب من الكوكب نبتون.

المذنبات والنيازك والشهب:

تعتبر المذنبات Comets (شكل ٩) هي الأخرى جزء من المجموعة الشمسية، وتشاهد من الأرض في هيئة بقع سديمية مضيئة تمثل رؤوس



شكل (٩) مذنب مورهاوس

المذنبات، ومنها تمتد ألسنة (ذيول) منيرة في الفضاء. وتتركب المذنبات من غازات أهمها أول أوكسيد الكربون والكيانوجين Cyanogen ، وحبيبات دقيقة من التراب الكوني الذي يعكس أشعة الشمس. وتشاهد عقد متصلبة معينة عند رأس المذنب. ويبدو أن هذه الرؤوس تتركب من مجمعات حجرية وحصوية تتباعد عن بعضها بمسافات صغيرة. وكتلة المذنب صغيرة جداً، ولا تزيد على كتلة كويكب صغير وهي تقدر بنحو واحد في المليار من كتلة الأرض.

وتدور المذنبات- كالكواكب- حول الشمس في مدارات بيضاوية. وبعضها يتحرك في مدارات بيضاوية مستطيلة نوعاً، ولهذا يمكن رؤيتها موسمياً من الأرض. أما الغالبية العظمى من المذنبات فتدور في أفلاك مستطيلة جداً. لهذا فإنها تأخذ من الزمن مئات السنين وأحياناً آلافاً من السنين لتكمل دورانها حول الشمس. ومن أشهرها مجموعة إنك ومجموعة مور هاوس ومجموعة هالي.

وتتركب الكواكب التي تتميز بكثافة مرتفعة ومعها الكويكبات أيضاً من نفس تركيب الأرض المعدني. وقد أمكن إثبات ذلك عن طريق دراسة النيازك Meteorites التي تساقطت على الأرض. هذه النيازك عبارة عن حطام أجسام كونية متحللة تماثل في تركيبها تركيب الكواكب من صنف الأرض. ولقد دُرس التكوين المعدني للنيازك دراسة دقيقة، وتبين أن جميع المعادن التي تدخل في تكوينها معروف في الأرض. وبعض النيازك ثقلها النوعي كبير وتتركب من الحديد والنيكل، وبعضها الآخر يتركب من معادن خفيفة وتعرف بالنيازك الحجرية أو الصخرية.

ولا تختلف الشهب عن النيازك إلا في الحجم. فالشهاب في حجم الحصى،

أما النيزك فيصل قطره بضعة أمتار. وهي جميعاً تسبح في الكون زرافات ووحداناً. وحين تقترب من مجال جاذبية الأرض تندفع إليها وتقتحم الغلاف الجوي بسرعة هائلة، ويتولد عن إحتكاكها بجو الأرض حرارة شديدة تؤدي إلى اشتعالها واحتراق معظمها وتلاشيه في الجو، بينما يصل بعض من موادها إلى الأرض.

القمر الأرضي:

في العام العاشر (١٩٦٩) من عصر الفضاء أصبح القمر - تابع الأرض الطبيعي - محلّ اهتمام كل الناس، وموضع أعظم جهد علمي وتكنولوجي عرفه التاريخ، فقد رصدت جهود مئات الآلاف من الفنيين، وآلاف المؤسسات الصناعية للوصول إليه وإنزال آدميين على وجهه الجميل..! وقد تحقق الحلم واستطاعت عبقرية الإنسان العظيم أن تضع على أديمه برفق رجلين أمريكيين هما أرمسترونج وأولدرين في يوم ٢٠ يولية من عام ١٩٦٩. وقد أخذا يتمشيان على وجهه أكثر من ساعتين، ثم عادا بسلام إلى كوكبنا العتيد، حاملين بعضاً من غموض تابعه وأسراره.

لقد كان القمر قديماً إلاهاً يخشى بأسه.. إله الليل الذي بقواه الغامضة يستطيع التأثير في الحياة على الأرض. كما كان مثاراً لخيال الشعراء والمحبين، تغنوا بجماله، وفرحوا بمطلعه، وحزنوا لغيابه. ومنذ زمن بعيد والقمر موضع لتأملات العلماء من فلاسفة ورياضيين وفلكيين. واستطاعوا الوصول إلى تفسيرات قاصرة لتساؤلات عدة تختص بنشأته وتركيبه وإمكانيات الحياة عليه. وقد يصبح القمر - مثل حجر رشيد بالنسبة لتاريخ مصر - مفتاحاً يساعد على فتح مغاليق تاريخ الأرض وأخواتها من أفراد المجموعة الشمسية.

وقد اعتقد كتاب القرون الوسطى بوجود حياة على القمر. فالفلكي الألماني يوحنا كبلر J. Kepler الذي اشتهر بعلمه في أواخر القرن السابع عشر اعتقد بأن «الفوهات البركانية» على سطح القمر اصطناعية، أنشأتها المخلوقات التي عاشت عليه. وذهب بعض الفلكيين إلى وجود حياة نباتية، وادعوا رؤية أفيال ضخمة تتهادى على سطحه. والقمر في واقع الأمر قاحل ماحل، لا نبت فيه ولا ضرع. هو «مكان تضع عليه الأشياء كي تعقمها» كما يقول العالم الأمريكي شوميكر Shoemacker. فالقمر لا يحيط به غلاف جوي، إذ هو من الصغر بحيث لا يستطيع الاحتفاظ بمثله كالأرض. ومن ثم فإنه يتأثر بكامل الإشعاع الشمسي بما فيه الأشعة المميتة فوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة جاما. وينعدم وجود الماء السطحي اللازم للحياة. ودرجة حرارة الظهيرة عند دائرة الاستواء القمري أعلى من درجة غليان الماء، وتهبط الحرارة إلى ما دون الصفر بكثير أثناء الليل القمري. ويوجد القمر في فراغ تام، ومن ثم فإن إمكانيات الحياة معدومة على وجهه.

ولقد اعتقد القدماء أن سطح القمر زجاجي أملس يعكس - كالمرآة - كوكب الأرض بقاراته وبحاره ومحيطاته. ومنذ عصر جاليليو Galileo بدأ الناس يعرفون أن سطح القمر مضرس ووعر. فمن خلال منظار مقرب يمكن رؤية البيئة الطبيعية القمرية التي سبق أن شاهدها جاليليو لأول مرة فأدهشته... بيئة وعرة موحشة تتمثل في أراضي مضرسة قاحلة وسهول مموجة داكنة، تكتنفها ظلال كئيبة تنطلق من سماء يلفها الظلام المطبق.

وتشكل المناطق الداكنة التي تعرفُ بالاسم اللاتيني ماريا Maria (أي بحر، نظراً لأن فلكي القرن السابع عشر ظنّوها بحاراً) تلك الصور والأشكال الغريبة التي تصورها الناس من كل الأعمار. فهناك من يتخيل شكل رجل عينه اليمنى «بحر Ibrium»، وعينه اليسرى «بحر

Sarinitatis » أما فمه فيحتله بحران هما Humorum و Nubium ».
وهناك من يتصور ملامح سيدة جميلة، أو يتخيل شكل أرنب له أذن طويلة أو هيئة قرد يدق الأرز. وتبدو تلك « البحار » القاتمة مستوية ملساء، كما لو كانت المياه تملأها وتلاطم شواطئها، وهي في الواقع ليست بحاراً تملأها المياه، وإنما هي أحواض فسيحة تغطيها - حسب اعتقاد العلماء - لافاً ورماد بركاني داكن اللون منذ عهد بعيد. ومن الغريب أن الجانب البعيد من القمر لا يحوي سوى عدد قليل من تلك « البحار » أو الأحواض التي تفتقر إلى وجود ذلك الغطاء من المواد « البركانية » الداكنة التي تظهر « البحار » على الجانب القريب المواجه لنا منه (يواجه القمر الأرض بجانب واحد فقط، نظراً لأن دورانه حول نفسه يتعامد على دوران الأرض حول محورها).

وتبدو المناطق الفضية المشرقة على القمر جبلية المظهر. وهي تغطي نحو ٦٠٪ من الجانب الذي نراه من القمر وجل الجانب البعيد الذي لا نراه، وتعرفنا عليه عن طريق الصور التي التقطتها لونا Luna وزوند Zond وأربيتر Orbiter. فهناك سلاسل جبلية طويلة تحمل أسماء كالأبنين والألب، تفصل بين « البحار » وهي ترتفع إلى أكثر من ٦٠٠٠ متر. وبالنسبة للإنسان على القمر قد لا تبدو له بهذا الارتفاع، بل قد لا يراها من موقعه إطلاقاً إذا بعد نوعاً عنها، ذلك أن سطح القمر (قطر محيطه ربع قطر الأرض) ينحني بسرعة لدرجة أن الأفق بالنسبة لرجل طوله ١٨٣ سم يكون على بعد ٢,٤ كم فقط (على الأرض نحو ٥ كم). ويبدو وجه القمر لرجل فضاء يقف عليه منبسطاً في معظمه أو مموجاً، إذ أن القمم الجبلية - فيما عدا القريبة منها - تختفي وراء الأفق.

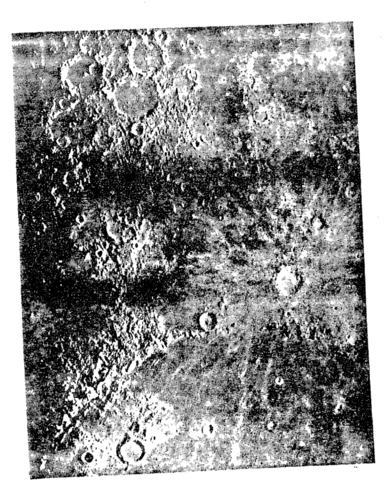
وتسود ظواهر « البحار » والمرتفعات وجه القمر عند مشاهدته بالعين



شكل (١٠) جزء من القمر التقط على بعد ٢٩٧٠ كم (أوربيتر ٤) في أقصى الصورة تبدو فوهة Tsiolkovsky كرقعة سوداء بها نقطة بيضاء تمثل قمة جبلية.

المجردة. لكن أكثر ما يلفت النظر في صورة التقطت له من قريب كثرة وجود «الفوهات البركانية» التي يزخر بها سطحه، بعضها عظيم الاتساع

يبلغ قطره عشرات الكيلومترات وبعضها الآخر صغير لا يتعدى اتساعه بضعة أمتار. ويشيع وجود هذه الظاهرات «الطفحية» أيضاً في قيعان «البحار» التي تبدو للمشاهد من على الأرض منبسطة ملساء. وقد أمكن إحصاء ثلث مليون فوهة على الجانب المواجه لنا وحده، معظمها قطره يزيد على الكيلومتر، وتتناثر حواليها وفي داخل الفسيح منها فوهات كثيرة لا تحصى. وتحيط بالفوهات هوامش مرتفعة بعضها مدرج، ومنها العميق الذي قد يزيد عمقه على ٥ كم، ومنها الضحل.



شكل(١١)المنطقة الوسطى للقمر: بحار، وفوهات، وجبال.

وهناك ظاهرة تبدو واضحة حينا يكون القمر في تمامه، وتتمثل في مجموعة من الأشعة المضيئة التي تسطع في كل الاتجاهات من عديد من الفوهات الكبيرة كفوهتي كوبر نيكوس Copernicus وكيبلر Kepler وفوهة تيشو Tycho التي يبلغ اتساعها نحو ٨٧ كم، والتي يمكن رؤية أشعتها بالعين المجردة. وتبدو الأشعة كما لو كانت لوافظ بركانية- رماد يُقذف ويُنثر من الفوهة حين ولادتها أشبه ما يكون بذرات اللبن حين تنتثر خارج إناء مليء به، قُذفت فيه كرة بعنف. ويُعتقد الآن أن تلك الأشعة ما هي إلا مواد تتميز بخاصية انعكاس عالية انتثرت أو انكشفت حينا نشأت الفوهة. ويُرجّع بعض العلماء نشأة الفوهات عن طريق اصطدام نوايات مذنبات أو أجرام سماوية أخرى كالنيازك بسطح القمر. ويقدرون قطر الجرم الذي فجّر فوهة تيشو بنحو ٤ كم، ولا بد أن القمر قد اهتز بعنف الارتطام كما تهتز «سلطانية من الجيلي». وتنطلق أشعة تيشو بعيداً عن القمر بنحو ١٦٠٠ كم، ولا شك أن أية لوافظ يقذفها القمر تبتعد عنه بمسافة يبلغ طولها عشرة أمثال المسافة التي تقطعها المواد التي تلفظها الأرض، ويرجع ذلك إلى انعدام المقاومة الجوية على القمر بالإضافة إلى شدة تقوس سطحه وضعف قوة جاذبيته (سدس الجاذبية الأرضية).

وهناك ظاهرة أخرى صعبة التفسير تتمثل في أودية ضيقة تشبه أودية الأنهار الأرضية، وهي تتلوى وتتعرج في منعطفات لمسافة تصل أحياناً إلى نحو ٣٢٠ كم. وقد تحير العلماء في تفسير نشأتها: فمنهم من يرى أن التدفقات السطحية للافا والرماد البركاني هي المسئولة عن ذلك، ومنهم من يعتقد بإمكانية تكوينها عن طريق تقلص وانكماش مجاري لافية سفلية أو مجاري مائية باطنية تلاشت وهبطت قشرة القمر على امتدادها، وقليل منهم من يؤمن بنحتها بواسطة مجاري مائية سطحية في فترة كان للقمر

شكل (١٢) مار أورينتال Mare Orientale .

أثناءها غلاف جوي مؤقت، وهذا أمر بعيد الاحتمال؛ وعلى أي حال فالمجاري المتعرجة قليلة على وجه القمر (أحصى منها ٥٠)، وأكثر منها شيوعاً تلك المجاري المستقيمة (أحصي منها نحو ١٠٠٠) التي يظن أنها نشأت نتيجة لتصدع قشرة القمر.

وتكتنف سطح القمر مخروطات بركانية تكثر نوعاً في المنطقة المعروفة بإسم تـــــلال ماريوس Marius Hills قرب فوهةماريوس.وهي قليلة الارتفاع (نحو ٣٠٠ م) لكنها تشبه المخروطات البركانية الأرضية، إذ يوجد لها شبيه في مخروطات هوارد ميزا Howard Mesa في حقل سان فرنسيسكو البركاني بولاية أريزونا، ويتفق معظم الباحثين على أن هذه المخروطات ما هي إلا نتاج لتراكم اللافا القمرية. ويبدو أن الحافات التي تبرز في حقل ماريوس تكونت من صهير لافي انبثق من خلال شقوق وكسور طويلة، أو أنها نشأت نتيجة لتجعد قشرة القمر.

وتتركب صخور القمر وتربته كيماوياً من معادن ثقيلة منها الحديد، وتشبه بعض صخوره أكثر صخور الأرض البركانية شيوعاً وهي البازلت. وتتكون تربته - على الأقل في المواقع التي رست فوقها سفن الفضاء - من مواد رمادية دقيقة الحبيبات يمكن مقارنتها بالطمي النهري. وهي تربة لينة، فحين وطئتها أقدام رواد الفضاء غاصت نوعاً وتركت فيها آثاراً واضحة، لكنهم استطاعوا السير عليها بدون عناء. وهي تربة ضحلة لا يتعدى سمكها بضع ديسمترات، لكن سمكها يزداد في «البحار» فقد تبين من دراسة آلاف الصور التي التقطتها أوربيتر وسيرفييور ولونا أن سمكها يتراوح بين ١ و ٩ متر. ويعتقد أن سبب تكوينها هنا يرجع إلى عمليات السحق التي مارستها النيازك الصغيرة التي كانت تتساقط كالمطر على سطح القمر، فحولت صخوره إلى فتات دقيق. وما الفوهات الصغيرة التي تعج بها

« البحار » إلا نتيجة مباشرة لاصطدام تلك النيازك بوجه القمر.

ويبقى بعد ذلك أن نتساءل: هل القمر بارد ساكن؟ أو هو كالأرض حيّ حار الباطن؟ كان يعتقد أن القمر جرم ميت تكتنفه البراكين الخامدة وقفار اللافا وتتعاقب على سطحه الحرارة الشديدة والبرودة القارسة، ولكن قد تبين من الدراسة التي تمت عن طريق الأجهزة التي أنزلت على سطحه أن باطنه حار. وقد سبقت الإشارة إلى أن تربة القمر وصخوره تشبه البازلت الأرضي. ومعروف أن البازلت الأرضي نتاج بركاني انبثق خلال فوهات، أو على امتداد كسور في قشرة الأرض من طبقة أو غلاف بازلتي يبلغ سمكه بضعة كيلومترات يمتد بلا انقطاع أسفل قشرة الأرض الجرانيتية. وتغطي تدفقات اللافا البازلتية مئات الآلاف من الكيلومترات المربعة في مناطق مثل هضبة كولومبيا في ولاية أوريجون وهضبة الدكن في الهند. وقياساً على هذا يمكن القول بوجود شبيه لهذه الطبقة البازلتية في القمر ويمكن اعتبارها مصدر المواد اللافية على سطحه.

وتتركب المواد الشبيهة بالبازلت على القمر من نفس العناصر الشائعة على الأرض: أوكسيجين وسيليكون وألومنيوم ومغنسيوم وكالسيوم وحديد. وتختلف مرتفعات القمر عن « بحاره » في أن الأخيرة أغنى من الأولى بنسبة المثلين في المعادن الثقيلة كالحديد والنيكل، وهذا يفسر إسوداد لون « البحار » القمرية. فصخور الأرض الداكنة تتركب من مثل هذه المعادن التي تضعف قدرتها على عكس الضوء.

وتتمثل أهمية الكشف عن وجود البازلت على القمر في تعزيز الرأي القائل بأن باطن القمر حار (أو على الأقل كان حاراً). فالبازلت الأرضي ينشأ من عمليات باطنية نارية – أي عمليات صهر وتصلب. وحينما ينصهر

جرم كوكبي أو قسم منه ثم يأخذ في البرودة التدريجية تحدث في صهيره عملية تصنيف أو تمايز (سيرد شرحها تفصيلاً في الفصل الثاني) فتنفصل المعادن الثقيلة عن المعادن الخفيفة، وتنشأ الصخور الداكنة والصخور الفاتحة. فالبازلت ما هو إلا نتاج عملية التمايز هذه. وبناء على ذلك يمكن القول بأن القمر - كالأرض - قد مرّ بفترة من تاريخه كان فيها منصهر الباطن.

وهنا يبرز السؤال - كيف تولدت الحرارة لصهر الباطن وتفجير البراكين؟ يقترح العلماء لذلك نفس الأسباب التي افترضت لتوليد حرارة باطن الأرض وهي: ١- قوة الجاذبية القمرية التي استطاعت تجميع مواد القمر التي كانت تتصادم ببعضها محدثة لحرارة شديدة. ٢- المواد المشعة كالبوتاسيوم واليورانيوم والثوريوم وهي تشع الحرارة عند تحللها. ٣- العمليات الميكانيكية التي تنشأ من تضاغط المواد تجاه المركز ومن ثم زيادة حرارة الباطن، بالإضافة إلى قوى المد التي تسبب اضطراب وتليين قشرة القمر.

ويرى كثير من الباحثين أنه حينما تزداد حرارة جرم في حجم القمر لدرجة تكفي لصهر باطنه. فإن مثل هذا الجرم «القمر» لا يمكن أن يبرد تماماً في أثناء الفترة التي انقضت منذ ولادته حتى الآن، وهي فترة تقدر بنحو ٤٥٠٠ مليون سنة (نفس عمر الأرض). وبناء على ذلك يمكن القول بأن باطن القمر لم يكن حاراً في فترة تاريخه فقط، وإنما كان وما يزال حتى الآن حار الباطن.

وإذا كان القمر بارد السطح حار الباطن كالأرض، فإنه ينبغي أن يعاني مثلها من ضغوط عنيفة يجب أن تحدث زلازل قمرية. ونحن نرى شواهد لذلك تتمثل في تدهور جدران الفوهات، وفي عمليات زحف المواد

على جوانب المنحدرات الجبلية. وقد اتضح من صورة التقطتها أجهزة أوربيتر، تدحرج صخرتين كبيرتين- إحداهما في حجم منزل- تركتا من ورائهما آثاراً في شكل مجريين غائرين يبلغ طول كل منهما عدة مئات من الأمتار، ويعتقد أن تدهورهما قد نشأ عن زلزال حديث.

وترتبط نشأة الفوهات بالإضطرابات التي حدثت في جسم القمر - هل نشأت عن طريق النشاط البركاني أو بسبب اصطدام النيازك بسطحه. هنالك اختلاف في الرأي، ولكن يعتقد أنها نشأت عن العاملين معاً. فمن الفوهات ما يبدو من مظهرها أنها تكونت عن طريق الاصطدام، وأخرى تدل معالمها على النشأة بسبب النشاط البركاني، بينما تكشف ملامح بعضها عن نشأة مركبة أو مزدوجة، أي أنها عانت من نشاط بركاني عقب تكوينها بفعل الاصطدام النيزكي. وعلى أي حال فهناك أمور لا بد أن يتفق عليها الجميع: فالقمر لا يحوي مخروطات بركانية ضخمة كمخروط فوجي Fuji أو مخروط رينيير Rainier، ولم يستطع آدمي حتى الآن أن يشاهد على سطح القمر ثوراناً بركانياً واضحاً أو تدفقات لافية نشيطة، وفي نفس الوقت لم يدّع أحد رؤية مذنب أو نيزك يصطدم بوجه القمر.

وتبقى كلمة أخيرة عن نشأة القمر. وفي ذلك تذهب الآراء كل مذهب: فمن قائل بأن القمر قد تكون في نفس الوقت الذي نشأت فيه الأرض كنوع من كوكب صغير مصاحب. ومن قائل بأن الأرض قد انشطرت في مرحلة قديمة مبكرة من عمرها كما تنشطر الأميبا فأنجبت القمر كولد لها. وبينما يرى البعض أن القمر قد نشأ في مكان آخر من مجال المجموعة الشمسية ثم انحرف عن مداره واقترب من الأرض فأسرته كقرين لها، إذا بآخرين يعتقدون بأنه تكون من اتحاد عدد من الأقمار الصغيرة وامتزاجها ببعضها ... وكلها كما نرى نظريات وافتراضات تفتقر إلى الأدلة الكافية. ولا شك

أن نجاح الإنسان في الوصول إلى القمر يهيء الفرص للعثور على تفسيرات مقنعة. وقد تمكن الرواد الأمريكون في الرحلتين الناجحتين (أبوللو ١١ في يوليو ١٩٦٩، مكث رائدها ساعتين وعشر دقائق على القمر، وأبوللو ١٢ في نوفمبر ١٩٦٩، مكث رائدها ٣١ ساعة و٣٢ دقيقة، أما رحلة أبوللو ١٣ في أبريل ١٩٧٠ التي حملت ثلاثة رواد فقد فشلت في الوصول إلى القمر) من جمع عينات عن سطح القمر عادوا بها إلى الأرض، ليتلقفها بالفحص والدراسة نحو ١٥٠ عالماً في مختلف التخصصات، يحدوهم الأمل في العثور على بعض المواد التي تحكي شيئاً عن أسراره وعن ميلاده وطفولته.

وقد صمم العلماء أجهزة مختلفة الأنواع والأغراض لوضعها على سطح القمر، حيث تعمل ذاتياً بقواها النووية الخاصة، لترسل إلى الأرض باستمرار معلومات عن الهزات القمرية الزلزالية وتتابع الأحوال الحرارية وفحص المغناطيسية... كما جرى تصميم نوع من العربات الجوالة تحمل أجهزة متباينة أخذت تسبح في القمر آلياً لتصور مختلف ظواهره وصخوره ومعادنه (رحلات أبوللو رقم ١٤ في يناير ١٩٧١، و١٥ في أغسطس ١٩٧١، و١٦ في أبريل ١٩٧٢، ورقم ١٧ في ديسمبر ١٩٧٢، والأخيرة كانت ختام رحلات برنامج أبوللو لاستكشاف القمر، وكذلك برنامج رحلات لونا الروسي) وسيأتي اليوم الذي يتمكن فيه الإنسان من إنشاء مستعمرات على سطحه، ويحاول بعلمه وجهده تطويع أرضه وبيئته الصعبة. ولن نعجب حين ننظر - بعد سنوات - من خلال منظار فلكي، فنرى مستعمرة آدمية يشع نورها في أحضان القمر.

الفصل الثاني

التركيب الصخري لقشرة الأرض

تتركب قشرة الأرض من غلاف صخري صلب، يتعرض القسم السطحي منه لتأثير الغلاف الجوي، وبالتالي لفعل عوامل النحت والاكتساح والتجوية. والقسم من قشرة الأرض الذي تتيسر لنا دراسته رقيق قليل السمك، إذ أن أعمق الجسات لم تصل في قشرة الأرض إلى أعمق من ستة كيلو مترات ونصف. ولكننا نجد في بعض الجهات التي أصابها الإلتواء صخوراً كانت في الأصل على عمق يتراوح بين ١٥ و١٦ كيلو متراً أظهرتها على السطح حركات تكوين الجبال.

ولقد أمكن إحصاء التركيب الكيماوي لقشرة الأرض عن طريق تحليل المعادن والصخور المكونة لتلك القشرة. وقد تبين أنها تتركب من العناصر الاساسية الآتية (بالوزن في المائة):

أوكسيجين	٤٦,٨٠ ٪
سيليكون	٢٨,٠٠ ٪
ألومينيوم	٧,٤٥ ٪
حديد	٤,٢٠ ٪

كالسيوم	٣,٢٥ ٪
صوديوم	٢,٤٠ ٪
مجسيوم	٢,٣٥ ٪
بوتاسيوم	٢,٣٥ ٪
أيدروجين	١,٠٠ ٪

ويتضح من الأرقام السالفة أن التسعة عناصر تكوّن ما يقرب من ٩٨٪ من وزن قشرة الأرض، وأن عنصر الاوكسيجين وحده يمثل ما يقرب من نصف وزن الغلاف الصخري في حدود السمك الذي سبق أن أشرنا إليه، وأن عنصر السيليكون يزن ما يزيد على ربع وزن القشرة بقليل. معنى هذا أن هذين العنصرين يمثلان وحدهما نحو ثلاثة أرباع وزن الغلاف الصخري. أما الالومينيوم والعناصر القلوية والايدروجين فتمثل نحو ٢٣٪ فقط. وتمثل جميع العناصر الأخرى- وعدد ما أكتشف منها يقرب من التسعين عنصرا- نسبة ضئيلة لا تزيد على ١,٢٪ من وزن قشرة الأرض. إذ تحتوي قشرة الأرض على عناصر التيتانيوم Titanium والكربون والفوسفور بنسبة لا تزيد على ٠,١٪ لكل عنصر منها، وعلى عناصر المنجانيز والكبريت والباريوم والكلورين والكروم Chromium والفلورين والزركون Zirconium والنيكل والاسترونتيوم Strontium والفاناديوم Vanadium والنحاس بنسبة ٠,٠١٪ لكل عنصر منها. كما تحتوي على عناصر أخرى كالتنجستين Tungsten والليتيوم Lithium والرصاص والكوبالت بنسبة ٠,٠٠١٪ لكل منها. أما العناصر الأخرى- ومنها الراديوم Radium- فتمثل في قشرة الأرض بنسب أدنى من ذلك.

وتسمى العناصر التي توجد في قشرة الأرض بنسب ضئيلة باسم

العناصر النادرة. ورغم ندرتها فإن بعضها هام بالنسبة لحياة الأرض وللنواحي الاقتصادية.

ومن بين جميع العناصر المعروفة لا نجد سوى القليل منها في حالته العنصرية الأصلية غير متحد مع غيره. وتشمل هذه العناصر القليلة الذهب والبلاتين والفضة والنحاس والكبريت والكربون الذي يوجد في هيئة فحم الانثراسيت Anthracite . أما معظم العناصر التي تحتويها قشرة الأرض فتتكون من مركبات كياوية.

وجميع المركبات الكياوية والطبيعية والعناصر الأصلية غير المتحدة ما هي إلا نتاج عمليات كياوية تمت داخل قشرة الأرض أو على سطحها. وتعرف هذه المركبات والعناصر باسم المعادن. فالمعادن هي في الواقع مركبات كياوية متجانسة نشأت عن اتحاد العناصر بفعل العوامل الطبيعية. وقليل منها ما يوجد في حالة عنصرية غير متحد مع غيره. ويقصد بالتجانس أن تكون المادة متشابهة في كل جزء منها تشابهاً تاماً من الوجهتين الكياوية والطبيعية. وقد أمكن التعرف على نحو ثلاثة آلاف معدن حتى الآن معظمها في حالة صلبة، وقليل منها في حالة سائلة أو غازية، والمعادن هي التي تكون الصخور التي تتركب منها قشرة الأرض.

المعادن

التركيب والشكل البلوري

توجد الغالبية العظمى من المعادن المعروفة في قشرة الأرض في حالة متبلورة Crystalline State ، ويوجد عدد قليل منها في حالة كتلية غير

متبلورة Amorphous State . وفي الحالة الأولى نجدجزيئيات ودرات أو أيونات العناصر مرتبة بنظام خاص محدود يتباين من معدن لآخر، بينما ينعدم وجود ترتيب منظم للجزيئيات والذرات في الحالة الثانية. ويؤدي الاختلاف في التركيب الداخلي للأجسام البلورية وغير البلورية إلى تباين في خصائصها الطبيعية كدرجة توصيلها للحرارة وللكهربائية ودرجة صلابتها وغير ذلك مما سنعرض له. فيما بعد.

ولكل معدن شكله البلوري الخاص به الذي يتوقف على التركيب الداخلي للمادة المكونة له. وتتحدد كل بلورة بواسطة مسطحات تسمى الأوجه البلورية Crystal Faces ، أما أحرف أو حدود البلورة Edges فتنشأ من تقابل كل وجهين بلوريين متقابلين.

وقد أمكن تصنيف الأشكال البلورية إلى سبعة نظم بلورية Crystal Systems على أساس ما يسمى بعناصر التبلور، .وهي المحاور البلورية والزوايا المحورية. وهذه النظم هي:

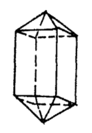
١ - النظام المكعب Cubic : وتمثله بلورة معدن الفلوريت ومعدن الماس.

٢ - النظام الرباعي Tetragonal : وتمثله بلورة الزركون.

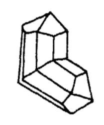
٣- النظام السداسي Hexagonal : وتمثله بلورة الكوارتز وبلورة البريل.

٤- النظام الثلاثي Trigonal : وتمثله بلورة الكوراندوم.

٥- النظام المعيني القائم أو المتعامد Orthorhombic : مثل بلورة الكبريت والأوليفين.



شكل (١٣) بلورة زيركون
(نظام رباعى)



شكل (١٤) بلورة روتيل توأمية في
شكل ركبة (نظام رباعي).

٦- النظام الأحادي الميل أو نظام الميل الواحد Monoclinic : تمثله بلورة الأورتوكلاس.

٧- النظام الثلاثي الميل أو نظام الميول الثلاثة Triclinic مثل بلورة الألبيت.

ولكل نظام من هذه النظم البلورية محاوره وزواياه المحورية الخاصة به. والمحاور البلورية عبارة عن خطوط وهمية تمر بمركز البلورة، وتختلف أطوالها من نظام لآخر، وقد تتعامد هذه المحاور مع بعضها وقد لا تتعامد، وقد تميل أو بعضها عن العمود بزوايا تختلف مقاديرها بحسب المعدن، ويبلغ عدد المحاور في كل النظم ثلاثة، فيا عدا النظام السداسي إذ يبلغ عدد محاوره أربعة. ويتميز كل نظام بترتيب خاص لأوجه البلورة وزواياها وأحرفها بالنسبة لمحاور تلك البلورة.

الخواص الطبيعية للبلورات

هناك طرق مختلفة تستخدم أساساً لتعيين المعادن وتمييزها عن بعضها،

وتعتمد هذه الطرق أساساً على تقرير هيئة البلورات. وعلى دراسة وفحص خواصها البصرية والكيماوية.

وعدا الطرق المعملية التي توصل إليها العلم لتمييز المعادن عن بعضها، هناك الطرق الحقلية التي يستطيع بواسطتها الدارس أن يتعرف على المعادن الرئيسية في الحقل. وهي تعتمد أساساً على مراعاة الصفات الرئيسية الخاصة بالمعادن وهي: لون المعدن في حالته الكتلية وفي حالة ما يكون مسحوقاً، وبريق المعدن أو لمعانه، والشفافية، ومكسر المعدن، والتشقق أو الانفصام، ودرجة الصلابة ثم الثقل أو الوزن النوعي. وترتبط هذه الصفات الطبيعية ارتباطاً وثيقاً بالتركيب الداخلي للمعدن وبنسيجه.

اللون Colour:

قد يختلف لون المعدن حينما يكون في شكل جسم صلب عن لونه حينما يكون مسحوقاً. ويتوقف لون المعدن على تركيبه الكيماوي الأصلي وعلى نظام الأيونات والذرات في البلورة، وعلى ما يحتويه من شوائب كيماوية قد تغير من لونه وإن كانت لا تؤثر في خصائصه الأخرى. ولهذا فإننا نجد معادن مختلفة تتميز بلون واحد كالجبس الأحمر الوردي والملح الصخري الوردي اللون أيضاً. وقد نجد معدناً واحداً يتلون بألوان مختلفة كمعدن الكوارتز، فهو عديم اللون حينما يكون نقياً، ويكون وردياً إذا احتوى على أكاسيد المنجنيز. وحينما يوصف المعدن ينبغي تحديد لونه بوضوح ودقة، وذلك بمقارنته بلون أشياء معروفة، فنقول مثلاً إن لون معدن ما أبيض لبني أو أصفر ليموني وهكذا.

ونجد في بعض المعادن أن لون الخدش Streak– وهو لون مسحوق

المعدن- يختلف عن لون المعدن في حالته الكتلية. مثال ذلك معدن البايريت Pyrite فلونه أصفر ذهبي، بينما لون مخدشه أو مسحوقه أسود مخضر.

ومن الممكن التعرف على لون مسحوق المعدن أو مخدشه وذلك بواسطة حكه على سطح لوحة من الصيني غير المصقول، وبهذه الطريقة يمكن التمييز بين معدنين يبدو مظهرهما الخارجي متماثل كمعادن أكاسيد الحديد السوداء كالهيماتيت، والماجنيتيت، فمخدش الأول أحمر قاني والثاني أسود.

البريق **Lustre**:

تنقسم جميع المعادن من حيث خاصية البريق إلى مجموعتين: أما المجموعة الأولى فتشتمل على المعادن ذات البريق الفلزي Metalic. فحينما ينعكس الضوء على سطوح هذه المعادن فإنها تبدو بالبريق العادي للفلزات. وتتميز المعادن العنصرية كالذهب والفضة وكذلك الكبريتيدات Sulphides مثل معدن البايريت بهذا البريق الفلزي.

وتحتوي هذه المجموعة أيضاً على معادن ذات بريق فلزي ضعيف (تحت فلزي Submetallic) يشبه بريق الفلزات الصدئة ومثلها الجرافيت.

أما المجموعة الثانية، وهي أكبر من الأولى فتشمل المعادن ذات البريق اللافلزي Nonmetallic . وفي هذه المجموعة يمكن تصنيف بريق المعادن إلى ما يأتي:

بريق ماسي **Adamantine**: وهو بريق شديد باهر يعتبر مثالياً لعدد قليل من المعادن التي تتصف بالشفافية أو كبر معامل الانكسار الضوئي كالماس.

بريق زجاجي Vitreous: وهو يماثل بريق سطح الزجاج، وتتصف به معظم المعادن الشفافة كالكالسيت والهاليت.

بريق لؤلؤي Mother of Pearl: كبريق معدني الميكا Mica والتلك Talc.

بريق حريري Silky: وتتميز به المعادن ذات النسيج الليفي كمعدن الأسبستوس Asbestos والجبس الليفي.

بريق دهني Greasy : وهو بريق يبدو وكأن المعدن مغطى بطبقة رقيقة من الدهن، وهي ميزة يتصف بها مكسر الكوارتز، والكبريت العنصري.

وهناك معادن ليس لسطحها بريق إطلاقاً، وفي هذه الحالة يقال إن المعدن مطفي **Dull** ، وهي صفة للمعادن التي لا تعكس الضوء. هذا ويتوقف بريق المعدن في شدته ونوعه على مقدار الانعكاسات الضوئية على سطحه.

الشفافية Transparency:

تتوقف شفافية المعدن على مقدرته على إنفاذ أشعة الضوء. وعلى هذا يمكن تميـيز الأنواع الآتية من المعادن:

المعادن غير الشفافة أو المعتمة non-transparent وهي المعادن التي لا تنفذ الضوء حتى ولو كانت في هيئة شفرات بالغة الرقة. هذه المعادن ذات بريق فلزي ومخدشها أسود أو د كن، وهي المعادن الفلزية العنصرية وكثير من أنواع الكبريتيدات والأكاسيد الحديدية.

المعادن الشفافة: وهي التي تسمح بنفاذ الضوء كالزجاج العادي. ومثلها البلور الصخري rock crystal (أنقى أنواع الكوارتز) والايسلندسبار iceland spar (كالسايت نقي).

المعادن شبه الشفافة **Semi-Transparent** : وتسمح بنفاذ الضوء بقدر معين مثل ما يسمح به الزجاج المغطى بالصقيع، ومثلها معدن الكالسيدوني Chalcedony والجبس والأوبال Opal

وهناك معادن معتمة غير شفافة وهي في حالتها الكتلية ولكنها تسمح بنفاذ الضوء خلال شريحة رقيقة منها، ومثلها معادن الفلسبار Felspar وكثير من معادن الكربونات.

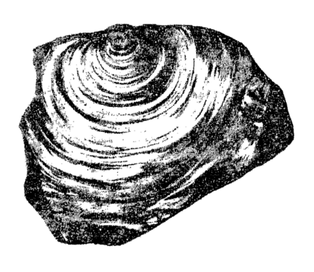
المكسر **Fracture** :

ويقصد به شكل سطح المعدن عندما ينكسر. وتتباين أشكال المكسر في مختلف المعادن. فيبدو سطح المكسر أحياناً في شكل **مقعر** أو **محدب**، تنتشر عليه خطوط أو تموجات تبدأ من نقطة مركزية ثم تتسع وتتلاشى، ويبدو بذلك سطح المكسر مثل المحار ولذا يسمى **بالمكسر المحاري** **Conchoidal** .

وفي حالات أخرى نجد أن المكسر يبدو مغطى بشظايا صغيرة، لذا يسمى **بالمكسر المشظى** **Splinitery** ، وتتميز به المعادن ذات النسيج الليفي أو العمداني الطويل كالأمفيبول Amphibole . وهناك معادن أخرى كالكاوولينيت Kaolinite تتصف **بالمكسر الأرضي** **Earthy** ، الذي يشبه سطح الصلصال الخشن. وعدا هذا نجد مظاهر أخرى للمكسر **كالمكسر المسنن** **Hackly** ومثله مكسر النحاس ثم **المكسر غير المستوي** **Uneven** وتتميز به مجموعة كبيرة من المعادن.

تشقق المعدن أو انفصامه

Cleavage



شكل (١٥) الكسر المحاري

وهي ميزة تتصف بها المعادن نتيجة لميلها لأن تنقسم على طول سطوح متوازية تسمى مستويات **التشقق أو الانفصام** **Planes of Cleavage**

وتتوقف هذه الخاصية على التركيب البلوري للمعادن.

ويمكن تمييز عدة أنواع من الانفصام بناء على **درجة كماله**، إذ يقال إن **الانفصام كامل Perfect** حينما يسهل شطر المعدن إلى رقاق ذات سطوح متوازية ناعمة مشرقة ساطعة، وهذه ميزة تتصف بها معادن الميكا. ويقال إن **انفصامه متوسط Medium** أو جيد، حينما يمكن كسر المعدن على طول مستويات انفصام تشبه سطوح المكسر غير المستوية كمعادن الفلسبار.

وهناك معادن **غير كاملة الانفصام Imperfect** . وتشقق هذه المعادن لا يمكن التحقق منه إلا بصعوبة كبيرة، ومثلها معدن الأباتيت Apatite والكبريت العنصري. ثم هناك **معادن عديمة الانفصام highly imperfect** وفيها يستحيل وجود مستويات انفصام ومثلها معدن الكوارتز.

وإلى جانب تقرير درجة الانفصام ينبغي **تحديد مستويات الانفصام** ذاتها. فبعض المعادن كالميكا تنفصم في مستوى واحد، بينما نجد معادن

أخرى يمكن أن تتشقق في مستويين بدرجتين مختلفتين. مثال ذلك الفلسبار الذي يتميز بأنه كامل الانفصام في مستوى، وبأنه جيد الانفصام في المستوى الآخر. وهناك معادن تنفصم في ثلاث مستويات ومثلها الكالسيت (انفصامه كامل في ثلاث مستويات) والهاليت.

الصلابة Hardness :

وهي صفة هامة من الصفات التي تعين الدارس على تمييز المعادن بعضها عن بعض. ويقصد بالصلابة مقدار مقاومة المعدن لتأثير العوامل الميكانيكية كالتآكل أو التحطيم أو الخدش. ويمكن تعيين صلابة المعدن باستخدام مقياس يعرف بمقياس موس **Mohs' scale** . وقد اختير لهذا المقياس عشرة معادن رتبت بالنسبة لدرجة صلابتها، ويمكن على أساسها تقرير صلابة المعادن الأخرى تقديراً نسبياً. وقد رتبت المعادن العشرة ترتيباً تصاعدياً حسب درجة صلابتها النسبية، وتبدأ بالمعدن الأدنى صلابة وهو التلك، ودرجة صلابته النسبية واحد، وتنتهي بالمعدن الأعظم صلابة وهو الماس، ودرجة صلابته عشرة.

مقياس الصلابة لموس

المعدن		درجة الصلابة
تلك	Talc	١
جبس	Gypsum	٢

كالسيت	Calcite	٣
فلوريت	Fluorite	٤
أباتيت	Apatite	٥
أورتوكلاس	Orthoclase	٦
كوارتز	Quartz	٧
توباز	Topaz	٨
كوروندوم	Corundum	٩
ماس	Diamond	١٠

وكل معدن من المعادن التي يحتويها مقياس الصلابة يمكن أن يخدش المعدن الذي يقل عنه صلابة كما ينخدش بالمعدن الذي يفوقه صلابة.

وحتى نتمكن من تقرير صلابة معدن ما ينبغي اختيار وجه مستوٍ على سطحه ونحاول خدشه بحافة حادة من معدن آخر من معادن المقياس. فإذا أمكن خدشه كان معنى ذلك أنه أكثر صلابة من المعدن الخادش، فنحاول بمعدن آخر، ونكرر التجارب حتى نصل إلى حالة تمكننا من وضع المعدن الذي يراد خدشه بين درجة صلابة معدنين من معادن المقياس، أي حتى نصل إلى وضع يمكننا من تقرير صلابته بين المعدنين، أو كمساوٍ لدرجة صلابة أي منهما.

ويمكن تقرير صلابة المعدن أيضاً بمساعدة أدوات عادة ما تكون متوفرة لدى الدارس كسن قلم الجرافيت (الرصاص) العادي ودرجة صلابته ١، وظفر الإصبع الذي يستطيع خدش المعادن التي تصل درجة صلابتها إلى ٣، ثم المسمار أو السلك ودرجة صلابة كل منها ٤. ورحاح النافذة ودرجة

صلابته ٥ ، ونصل السكين الصلب ودرجة صلابته ٦ ، والكوارتز ودرجة صلابته ٧ . فبالاستعانة بهذه الأدوات يمكن تحديد صلابة المعادن التي تصل درجة صلابتها إلى ٧ . أما المعادن التي تزيد درجة صلابتها على ٧ فهي نادرة الانتشار .

الوزن النوعي: **Specific Gravity** :

مما لا شك فيه أنه لا يمكن تقرير الوزن النوعي للمعادن بدقة إلا في المعمل. ولكن لكي نعين ونميز المعادن عن بعضها ينبغي أن يكون في استطاعتنا ، عن طريق وزنها براحة اليد ، أن نقرر ما إذا كان المعدن ينتمي إلى مجموعة **المعادن الخفيفة** التي يبلغ وزنها النوعي ٢,٥ ، أم إلى مجموعة **المعادن المتوسطة** الوزن التي يبلغ وزنها النوعي ٣,٥ . أم إلى مجموعة **المعادن الثقيلة** التي يبلغ وزنها النوعي ٤,٥ فأكثر. وبالتمرين يصبح في استطاعة الدارس تعيين الوزن النوعي للمعادن بدرجة كافية من الدقة.

وعند دراسة أي معدن من المعادن ينبغي تمييز واعتبار كل الصفات التي أشرنا إليها ، إد أنه بتحديد تلك الصفات جميعاً يمكن تقرير المعدن وتمييز نوعه.

هذا وتتميز بعض المعادن بصفات خاصة بها لا نجدها في المعادن الأخرى. مثال ذلك معادن الكربونات فهي تتفاعل مع حامض الأيدرو كلوريك وتتصاعد منها فقاقيع غاز حامض الكربونيك (ثاني أكسيد الكربون)، وتعرف عملية التفاعل هذه بخاصية **فوران المعدن Boiling up** . وهناك خاصية ازدواج انكسار الأشعة **Double refraction** التي يتميز بها معدن الكالسيت النقي ، ويتميز الماجنيتايت دون غيره بخواصه

المغناطيسية القوية. وتتميز معادن الهالوجين Halogen (الأملاح الصخرية بأنها تذوب في الماء وبأن لها مذاقها الخاص بها.

تصنيف المعادن

لقد أمكن التعرف حتى الآن على نحو ثلاثة آلاف معدن تدخل في تركيب قشرة الأرض، ولكن الغالبية العظمى منها نادرة الوجود، ولا يزيد عدد المعادن الواسعة الانتشار في الغلاف الصخري عن خمسين معدناً.

وأكثر مجموعات المعادن انتشاراً في قشرة الأرض هي مجموعة معادن الفلسبار، إذ تبلغ نسبة وجودها ما يقرب من ٦٠٪، يليها معدن الكوارتز بنسبة تصل إلى ١٢,٦٪، أما معادن الميكا فتبلغ نسبتها ٣,٦٪. ومن بين مجموعات المعادن الواسعة الانتشار في قشرة الأرض أيضاً مجموعة سليكات الحديد والمغنسيوم ونسبتها مجتمعة حوالى ١٦,٨٪، أما الكالسيت فتبلغ نسبته ١,٥٪، ومعدن الدولوميت ٠,١٪. وتبلغ نسبة مختلف معادن الصلصال ١٪. أما باقي المعادن فلا تكون من كتلة قشرة الأرض سوى ٥٪ أو أدنى من ذلك بقليل. وتسمى المعادن التي تدخل في تركيب الصخور الشائعة في الغلاف الصخري بنسبة كبيرة بالمعادن المكونة للصخور rock-forming minerals.

ويمكن تقسيم المعادن بحسب تركيبها الكيماوي ونسيجها البلوري إلى عدة مجموعات أهمها ما يأتي:

١- المعادن العنصرية Native elements.
٢- المعادن الكبريتيدية Sulphides.

٣- الهالوجينات Halogenides .

٤- الأكاسيد والأيدروكسيدات Oxides and Hydroxides .

٥- الكربونات Carbonates .

٦- الكبريتات Sulphates .

٧- الفوسفات Phosphates .

٨- السليكات Silicates .

ونأتي الآن إلى دراسة لخواص ومميزات المعادن الهامة والمعادن الرئيسية التي تدخل في تكوين الصخور.

المعادن العنصرية

يندر وجود المعادن العنصرية في الطبيعة، وهي ليست من المعادن المكونة للصخور. وقد ترتبط نشأة هذه المعادن بتمايز كتل الصهير، مع حدوث تفاعلات كيماوية ثانوية، أو بفعل الحرارة المرتفعة والضغط الشديد.

ويمكن تقسيم المعادن العنصرية إلى قسمين:

ا- معادن عنصرية فلزية: كالذهب والفضة والنحاس والبلاتين.

ب- معادن عنصرية لا فلزية: كالجرافيت والكبريت والماس.

(أ) معادن عنصرية فلزية

ونختار لهذه الدراسة معدن الذهب.

الذهب:

معدن ثمين يوجد في الطبيعة في هيئة بلورات أو حبيبات تنتشر في عروق الكوارتز (المرو)، ويوجد في هيئة قشور أو صفائح رقيقة أو كتل. ونظام بلوراته مكعبي. ولونه أصفر، وثقله النوعي بين ١٥,٦ - ١٩,٣ . وهو يقبل الطرق والسحب، ودرجة صلابته بين ٢,٥ - ٣.

ويوجد الذهب في الصخور وفي الأنهار وفي المحيطات كما يوجد حتى في دماء الكائنات الحية. وهو يوجد أيضاً في الرواسب المنقولة Placers وهي الرواسب التي اكتسحتها التعرية وأعادت إرسابها، كما يوجد محلياً in situ في كتل الخام. وأحياناً نجد سطح الذهب العنصري وقد غطي بطبقة من مواد أخرى كأكاسيد الحديد.

ويعدن الذهب في جهات كثيرة من العالم خصوصاً في جنوب إفريقيا قرب مدينة جوهانسبرج، وتنتج هذه المنطقة وحدها ما يقرب من ٤٠٪ من إنتاج العالم. ويعدن الذهب أيضاً في جبال أورال وفي سيبيريا والهند والصين وساحل الذهب وألاسكا وكاليفورنيا. ويوجد الذهب بكميات صغيرة في صحراء مصر الشرقية.

(ب) معادن عنصرية لا فلزية

الجرافيت (كربون):

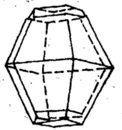
نادراً ما يوجد في شكل بلورات صغيرة سداسية النظام. إذ غالباً ما نجده في هيئة كتل مندمجة. ولونه داكن بين الرمادي والأسود. ومخدشه رمادي داكن أو أسود، وبريقه فلزي لامع أو مطفي. وانفصامه كامل على مستوى واحد. وهو قابل للانثناء حينما يكون في شكل رقائق رفيعة ودرجة صلابته ١. ووزنه النوعي بين ٢,٠٩ - ٢,٢٣ وملمسه دهني. ومخدشه أسود لامع، ويترك أثراً على الورق.

وترتبط نشأة الجرافيت بعمليات التايز التي تحدث في كتل الصهير Magma وبعمليات التحول. ويوجد في شرق كندا بين صخور النيس Gneiss، وفي هيئة عروق في جزيرة سيلان، كما يوجد بجوار العروق النارية كما في ألمانيا. ويوجد في مصر في الصخور المتحولة «جرافيت شست» وذلك في جبال البحر الأحمر. ويستخدم الجرافيت أساساً في صناعة أقلام الرصاص وفي تبطين أفران الصهر والتشحيم وصناعة البواتق الحرارية التي تستخدم في صناعة الصلب والنحاس.

الكبريت:

يوجد أحياناً في شكل بلورات تدخل ضمن النظام المعيني القائم، ولكن غالباً ما يوجد في هيئة كتل، ولونه أصفر كبريتي يميل أحياناً للون الأخضر البني لوجود شوائب فيه، وبريقه على طول المكسر دهني مطفي، وانفصامه غير كامل، ومكسره محاري ترابي. صلابته بين ١ - ٢، ووزنه النوعي بين

٢,٠٥ ، ٢,٠٨ . وهو يحترق بلهب أزرق ويتصاعد منه ثاني أكسيد الكبريت (كب أ ٢).



شكل (١٦) بلورة كبريت (نظام معيني قائم).

ويوجد الكبريت حول فوهات البراكين حيث يترسب من الغاز والأبخرة التي تنفثها البراكين كما في إيطاليا واليابان. كما يوجد في الصخور الرسوبية مختلطاً مع معادن الكبريتات كالجبس، ومعادن الكربونات كالكالسيت والأراجونيت،وهنا يتكون نتيجة اختزال معادن الكبريتات.

والكبريت يعدن في جهات كثيرة من أهمها أمريكا الشمالية، ويوجد في مصر في التكوينات التابعة لعصر الميوسين مختلطاً مع الجبس على طول ساحل البحر الأحمر.

وهو يستخدم في صناعة حامض الكبريتيك والثقاب والبارود والسماد والمبيدات الحشرية كما يستخدم للأغراض الطبية.

المعادن الكبريتيدية

تأتي مجموعة هذه المعادن في المرتبة الثانية بين مجموعات المعادن من حيث عدد المعادن التي تشتمل عليها بعد مجموعة معادن السيليكات، ولكن

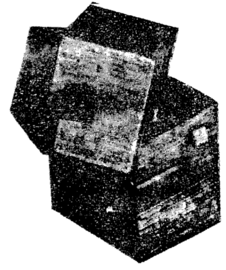
بالنسبة لوجودها في قشرة الأرض فهي كالمعادن العنصرية تحتل مركزاً متأخراً، كما أن معادنها ليست من المعادن المكونة للصخور، ومع هذا فإن بعضاً من معادن هذه المجموعة له أهمية عملية كبيرة.

وتركيبها الكيماوي بسيط، فهو خليط من عناصر مختلفة تتحد مع الكبريت. وترتبط نشأة الكبريتيدات أساساً بعمليات الترسيب الناشئة عن محاليل مائية حارة، كما تتكون أيضاً من تمايز الصهير، وقد تترسب من محاليل باردة وتتميز معادن هذه المجموعة ببريق فلزي، وبصلابة قليلة نسبياً، وبثقل نوعي كبير.

وأشهر معادن هذه المجموعة هي: بايرايت Pyrite (كبريتيد الحديد)، وكالكوبايرايت Chalcopyrite (كبريتيد النحاس والحديد)، وجالينا Galena (كبريتيد الرصاص). وسنكتفي بدراسة البايرايت.

البايرايت Pyrite: كبريتيد الحديد.

وهو من أكثر معادن هذه المجموعة شيوعاً، وغالباً ما يوجد على هيئة بلورات محدودة بوضوح ونظام بلوراته مكعبي، فهي مكعبة الشكل، وتبدو على أوجه البلورات خطوط متوازية رفيعة وقد يوجد المعدن في هيئة حبيبات



شكل (١٧) بلورات بايرايت مكعبة النظام. تلاحظ الحزوز على أسطح البلورات والبلورات متداخلة في بعضها.

أو كتل مندمجة، ولونه أصفر فاتح أو أصفر ذهبي، ومخدشه أسود أو أصفر ضارب إلى الاخضرار. والبريـــق فلزي باهر لدرجـة أنـه يجعل من الصعـب أحيانـاً تقرير لون المعدن، وهو معتم غير شفاف وانفصامه غير كامل، ومكسره غـير مستوٍ، ودرجـة صلابته بين ٦ و ٦,٥ ووزنه النوعي ٤,٩ إلى ٥,٢.

ويوجد البايرايت في جهات عديدة من العالم كإسبانيا وألمانيا وإنجلترا وأمريكا الشمالية، كما يوجد في مصر في الصحراء الشرقية وسيناء في هيئة عروق بين الصخور المتحولة والنارية.

ويستخدم في الصباغة وفي صناعة حامض السكبريتيك وفي الصناعات الكيماوية.

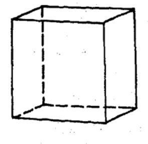
الهالوجينات

وتضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من المعادن تمثل أملاح أحماض الهالويد Haloid acids التي ترسبت في محاليل مائية. ومن بين معادن هذه المجموعة لا نجد سوى معادن قليلة- أهمها الكلوريدات- هي التي تدخل في تركيب الصخور.

الهاليت (الملح الصخري) Halite :

وهو يتركب كيماوياً من كلوريد الصوديوم، ويتبلور حسب نظام المكعب. وعادة ما يوجد المعدن في هيئة كتل أو حبيبات. والهاليت النقي عديم اللون أو أبيض. وكثيراً ما نجده في ألوان مختلفة فاتحة كاللون الأحمر والأصفر أو الأزرق أو الرمادي، ويعزي اختلاف الألوان إلى احتوائه على شوائب ملونة، وبريقه زجاجي، وهو شفاف، وانفصامه كامل في ثلاث مستويات توازي أوجه المكعب. ودرجة صلابته ٢ ووزنه النوعي ٢,١ - ٣,٢ وهو يذوب بسرعة في الماء، ويتميز بمذاق ملحي مثالي خاص به.

ويوجد الملح في الطبيعة على هيئة طبقات تتداخل في طبقات الصخور الرسوبية الأخرى. وتحتوي مياه المحيطات على نسبة من الهاليت تقدر بنحو ٣٪ ذائبة فيها. ويترسب الهاليت أحياناً على قاع البحيرات المالحة ويعرف حينئذ بالملح الشمسي Solar Salt. وكثيراً ما تحتوي المياه الباطنية على الملح، وقد ينبثق بعضها على سطح الأرض في شكل ينابيع مالحة، فيترسب الهاليت حواليها بعد تبخر المياه ويعرف حينئذ بملح التبخر Evaporation Salt.



شكل (١٨) الشكل البلوري للملح الصخري (هاليت) والسيلفين والفلوريت والباريت (نظام مكعبي ذو ستة أوجه).

ويستخدم الملح للأغراض المنزلية، وفي الصناعات الكياوية وللدباغة. ويوجد الهاليت في جهات كثيرة من العالم في طبقات تنتمي لمختلف العصور الجيولوجية، كما يظهر على السطح في الجهات الصحراوية، وتتجمع الأملاح أحياناً في شكل قباب Salt domes لها أهميتها الكبيرة باعتبارها مخازن للبترول كما في إيران.

المعادن الأوكسيدية والأيدوكسيدية

تتكون معادن هذه المجموعة من مركبات تتألف من عناصر مختلفة متحدة مع الأوكسيجين ومع الماء. وهي واحدة من بين المجموعات التي تتميز بكثرة معادنها، وهي تزن ما يقرب من ١٧٪ من وزن الغلاف الصخري.

المعادن الأوكسيدية (لا مائية)

الكوارتز Quartz:

يتركب كياوياً من ثاني أكسيد السليكون (س أ$_٢$)، وهو أحد المعادن العظيمة الانتشار في قشرة الأرض، ويعتبر من أهم المعادن التي تدخل في تركيب الصخور التي تنشأ في أعماق قشرة الأرض وهي الصخور النارية أو صخور الصهير، كما يعتبر من المكونات الهامة للصخور المتحولة والصخور الرسوبية.

وهو يوجد في الطبيعة على هيئة حبيبات غير منتظمة أو في هيئة كتل أو بلورات. وبلورات الكوارتز تتخذ شكل المنشور السداسي، وتتميز الأوجه بأنها مخططة تخطيطاً دقيقاً، وتنتهي البلورات بشكل معين عند

طرف واحد أو عند طرفيها.

وتسمى أنواع الكوارتز الشفافة باسم البلور الصخري **Rock Crystal** وهو أنقى عينات الكوارتز، ويستخدم في صناعة المجوهرات وعدسات النظارات.

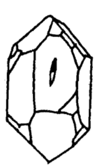


شكل (١٩) مجموعة من بلورات الكوارتز

وعلى الرغم من أن الكوارتز عديم اللون أو أبيض حينما يكون نقياً فكثيراً ما نجده ملوناً. ومن أمثلة ذلك ما يعرف بالكوارتز المدخن **Smoky**، ولونه أصفر دخاني أو بني، ويستخدم في صناعة المجوهرات. وهناك نوع من الكوارتز بنفسجي اللون يسمى أميثست **Amythyst**،

ويعزي لونه البنفسجي إلى احتوائه على شوائب المنجنيز، وهو شفاف، ويستخدم أيضاً في صناعة الجوهرات. وعدا هذا نجد عينات أخرى من الكوارتز سوداء اللون تعرف باسم الكوارتز الأسود أو الموريون Morion، وعينات وردية اللون تحتوي على شوائب من معدن التيتانيوم تسمى بالكوارتز الوردي Rose. وهناك أيضاً ما يعرف بالكوارتز اللبني Milky، ولونه أبيض لبني بسبب احتوائه على فراغات هوائية بالغة الدقة.

وبلورات الكوارتز ذات بريق زجاجي، ومكسرها محاري غير مستوى دهني، وانفصامها معدوم، ودرجة صلابتها ٧، ووزنها النوعي منخفض ٢,٥ - ٢,٨، ولا تذوب إلا في حامض الفلوردريك.



شكل رقم (٢٠) بلورة كوارتز يساريه

وينشأ الكوارتز أثناء عمليات تمايز الصهير، كما يتكون من ترسيب المحاليل الحارة، وأثناء عمليات التحول التي تصيب الصخور. ويتبلور الكوارتز الذي يتكون في درجة حرارة أعلى من ٥٧٣° م حسب النظام السداسي، أما الكوارتز الذي ينشأ في درجة حرارة أدنى من ذلك فيتبلور حسب النظام الثلاثي، وهذه البلورات هي التي توجد بكثرة في الطبيعة.

وهناك أنواع أخرى من الكوارتز تتميز بأن بلوراتها غير واضحة

وتسمى بالأنواع الخفية التبلور Cryptocrystalline ومثلها الأجيت والكالسيدوني.

الياقوت **Ruby**: وهو شفاف أحمر اللون، وهو حجر كريم غالي الثمن.

الزفير **Saphire**: ولونه أزرق غامق ويستخدم أيضاً في صناعة الحلي.

وقد قامت الآن صناعة لإنتاج الياقوت الصناعي Artificial. ولللياقوت والزفير أهمية كبيرة في الصناعات الهندسية، خاصة في صناعة الساعات نظراً لعظم صلابتها.

الهياتيت Hematite:

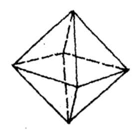
ويتركب كياوياً من أكسيد حديديك، ويحتوي على نحو ٧٠٪ حديد. ويتبلور حسب النظام الثلاثي، ويوجد عادة على هيئة بلورات دقيقة كما يوجد على هيئة كتل قشرية بلورية. وفي هذه الحالة يسمى خام الحديد الأحمر Red Iorn. ويكثر وجوده في شكل بلورات معينية الهيئة. ولون الهياتيت المتبلور أسود حديدي، أما لون العينات القشرية التبلور فيكون أحمراً. والخدش أحمر دموي، ويتباين البريق بين الفلزي والمطفي. والهياتيت غير شفاف معتم حتى في الشرائح الرقيقة. ودرجة صلابته ٥,٥ - ٦ والمكسر محاري، ووزنه النوعي كبير ٥ - ٥,٣ وهو وزن مثالي للمعادن الحديدية.

ويتكون الهياتيت على الأكثر نتيجة الترسيب من المحاليل الحارة وأثناء عمليات التحول. وهو خام هام للحديد. ويوجد في عدة بقاع من العالم منها منطقة المسابي Missapi Range في غرب بحيرة سوبيريور بأمريكا الشمالية وفي البرازيل. ويوجد نوع من الهياتيت في مصر ويسمى الحديد الحبيبي أو

البطروخي Oolithic iorn ore وذلك في صخور العصر الكريتاسي في منطقة أسوان، كما يوجد مختلطاً مع الليمونيت في الواحات البحرية بصحراء مصر الغربية.

الماجنيتيت Magnetite :

ويتركب كيماوياً من أكسيد حديدوز وحديديك، ويحتوي على الحديد بنسبة تصل إلى حوالى ٧٣٪. ويتبلور حسب نظام المكعب. ويوجد في شكل كتل مندمجة أو هيئة بلورات ثمانية الأوجه متداخلة في الصخور.



شكل (٢١) الشكل البلوري للماجنيتيت
والفلوريت والبايريت (مكعبي النظام ذو ثمانية أوجه)

وهو يشبه الهيماتيت في مظهره الخارجي وفي صفاته الطبيعية، ويمكن تمييزه عن الهيماتيت بخدشه الأسود وبخواصه المغناطيسية القوية، إذ أنه يجذب الإبر والمسامير وغير ذلك.

وهو يتكون كالهيماتيت أثناء مراحل تصلب الماجما، وعن الترسيب من المحاليل الحارة وأثناء عمليات التحول الصخري، وهو خام هام جداً للحديد.

ويوجد على الخصوص في الروسيا حيث يعدن في مناجم غنية في

مرتفعات الأورال، كما يوجد في السويد وفي إسبانيا وفي جزيرة إلبا Elba الإيطالية. ويوجد في مصر في الصخور المتحولة في الصحراء الشرقية جنوبي القصير في منطقة كريم، كما يوجد في الرمال السوداء عند رشيد ودمياط والعريش.

المعادن الأيدروكسيدية

الليمونيت Lemonite:

ويتركب كيماوياً من أكسيد حديديك مائي. وتتباين كمية الماء في هذا المعدن مما يترتب عليه اختلاف وتغير في اللون. ولون عيناته الهشة أصفر فاتح، أما الألوان المندمجة فتتخذ اللون البني أو الأحمر البني أو الأسود البني. والخدش أصفر بني أو بني، ودرجة الصلابة منخفضة ١,٥، والوزن النوعي ٣- ٣,٤.

ويسمى خام الحديد الحبيبي Oolithic بأسماء محلية مختلفة منها: خام الحديد الفولي Pean ore، وخام الحديد المستنقعي Bog ore، وخام المروج Meadow ore. ومن الممكن أن نجد في العينة الواحدة خليطاً من الأنماط الهشة Loose والأنماط المندمجة Compact.

وينشأ معدن الليمونيت على سطح الأرض نتيجة لعمليات التجوية التي تحدث في المعادن الحديدية الأخرى، ونتيجة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة micro organisms، وهو يترسب أيضاً في الأحواض المائية. والليمونيت خام للحديد..

أوبال Opal :

يتركب كيماوياً من ثاني أكسيد السيليكون المائي، وهو معدن غير متبلور amorphous، ويحتوي على كمية من الماء تتراوح بين ١ - ٥٪. وقد ترتفع إلى أكثر من ذلك. ويوجد عادة في هيئة كتل مندمجة. وهو أصلاً عديم اللون، ولكنه يتلون إذا احتوى على شوائب ملونة. ولون الأوبال الكريم أبيض لبني، ويتميز بخاصية تلاعب الألوان Play of Colours فهـو أبيض لبني أو أبيض رمادي أو أصفر أو أحمر بني، وهذا يتوقف على اتجاه النظر إليه نتيجة لتلك الخاصية التي يتميز بها والتي تسمى باللألأة الأوبالية. وهو نصف شفاف. وبريقه زجاجي أو دهني مطفي. المكسر محاري أو غير مستوى، والخدش أبيض، ودرجة الصلابة ٥ - ٥,٥ وأحياناً ٦ والوزن النوعي ٢,٢- ٢,٥.

وينشأ الأوبال على الخصوص على سطح الأرض نتيجة لتجوية السيليكات وأيضاً بسبب الترسيب في الأحواض المائية. كما يتكون نتيجة للترسب من المحاليل الحارة حول الينابيع والنافورات الحارة كالجيزر Gyser في أيسلندا. وهناك بعض الكائنات الحية والنباتات الأولية (الدنيئة) تبني هياكلها من الأوبال، وبعد موتها تترسب هياكلها في البرك والمستنقعات مكونة للأوبال ومثله الأوبال الدياتومي Diatom.

ويستخدم الأوبال الثمين في صناعة الحلي، وتستخدم العينات الأخرى في صناعة العوازل الحرارية وفي الصقل والتلميع.

الكربونات

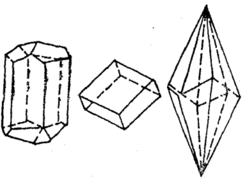
تتركب معادن هذه المجموعة من أملاح حامض الكربونيك. ويدخل

بعض هذه المعادن في تركيب الصخور الرسوبية والصخور المتحولة. وتتميز معادن الكربونات بأنها تتفاعل مع حامض الأيدروكلوريك. ويتصاعد نتيجة لهذا التفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون في شكل فقاقيع يبدو معها المعدن وكأنه « يغلي ».

ويمكن ظاهرياً تميـيز معادن الكربونات المتشابهة عن طريق ملاحظة مدى شدة تفاعلها مع حامض الأيدروكلوريك.

الكالسيت **Calcite** :

يتركب كيماوياً من كربونات الكالسيوم، وهو أكثر معادن هذه المجموعة انتشاراً، ويتبلور حسب النظام الثلاثي وقد يوجد في هيئة بلورات منفصلة، وقد يوجد في شكل ليفي أو حبيبي أو على هيئة الاستالاكتيت والاستالاجميت Stalactite & Stalagmite. والكالسيت عديم اللون أو أبيض. وهو يتلون بألوان مختلفة لاحتوائه على شوائب قد تعطيه اللون الأزرق أو الأحمر أو الرمادي أو البني. وبريقه زجاجي وأحياناً لؤلؤي، وهو شفاف أو نصف شفاف. وانفصامه كامل في ثلاث مستويات توازي أسطح المعين. ومكسره محاري، ومخدشه أبيض، وصلابته ٣، ووزنه النوعي ٢,٦ - ٢,٨ . وهو يتفاعل بشدة مع حامض الأيدروكلوريك.



شكل (٢٢) بلورات كالسيت (نظام ثلاثي)

وتسمى عينات الكالسيت الشفافة عديمة اللون باسم أيسلند سبار Iceland spar ، وتتميز بخاصية الانكسار المزدوج، وتستعمل في صنع الآلات البصرية (الميكروسكوبات).

وحينا يحمى الكالسيت يتصاعد منه غاز ثاني أكسيد الكربون، ويتبقى ثاني أكسيد الكالسيوم الذي يعرف بالجير الحي burnt lime ، وحينا يُضاف الماء إلى الجير الحي فإنه يتحول إلى جير مطفي Slaked lime ، وهذا يمتص ثاني أكسيد الكربون من الجو ويتصلب.

ويترسب الكالسيت من المياه السطحية ومن المياه الحارة، وينشأ أيضاً أثناء عمليات التحول. وهناك صخور عظيمة الانتشار على سطح الأرض تتركب من الكالسيت كالصخر الجيري والطباشير والرخام. ويوجد حول الينابيع في رواسب الترافيرتين Travertine ، كما تتكوّن أعمدة الاستالاكتيت والاستالاجميت في المغارات والكهوف. هذا وقد وصف الكالسيت أول ما وصف في جزيرة أيسلندا، ومن ثم جاءت تسميته أيسلندسبار.

الدولوميت Dolomite :

وهو يتركب من كربونات الكالسيوم (بنسبة ٥٤٪ تقريباً) وكربونات المغنسيوم (بنسبة ٤٦٪ تقريباً) وهو معدن واسع الانتشار. ويتبلور حسب النظام الثلاثي، ويوجد في هيئة كتلية، وبريق البلورات زجاجي، أما بريق العينات الكتلية فمطفي. وهو إما عديم اللون أو أبيض يميل إلى الاصفرار، ولكن عادة ما نجده رماديا أو غامقا بسبب الشوائب الناتجة عن الأكسدة. وصلابته ٣,٥ - ٤ والمكسر غير مستو أو محاري هش، والوزن النوعي ٢,٨ - ٢,٩ . ويتفاعل مسحوق الدولوميت مع حامض الايدروكلوريك.

ويكون الدولوميت صخوراً واسعة الانتشار في جميع العصور الجيولوجية نتيجة للترسيب من مياه البحار، ويستخدم في صناعة الاسمنت وفي البناء وفي تبطين الأفران الحرارية.

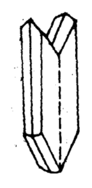
الكبريتات

تعتبر معظم معادن الكبريتات من المعادن المكونة للصخور الرسوبية. وترجع نشأتها إلى ترسيب أملاح حامض الكبريتيك من المياه السطحية أو نتيجة لأكسدة الكبريتيدات.

الجبس Gypsum :

يتركب من كبريتات الكالسيوم المائية. وهو أحد المعادن الرئيسية المكونة للصخور الرسوبية. وكثيراً ما نجده في هيئة بلورات محدودة جيداً، ونظامها أحادي الميل، وقد يوجد المعدن في هيئة كتلية حبيبية، كما يوجد أحياناً في شكل بلورات مزدوجة (توأمية). وانفصام هذا المعدن كامل، ودرجة صلابته ٢، ويمكن خدشه بسهولة بواسطة ظفر الإصبع. ووزنه النوعي ٢,٣. والعينات النقية منه لا لون لها، أما العينات التي تحتوي على شوائب فلونها أبيض رمادي أو أزرق أو أحمر، وهو شفاف أو نصف شفاف، وبريقه زجاجي أو لؤلؤي. وتسمى عينات الجبس التي تتميز بلوراتها بنسيج ليفي دقيق باسم سيلينيت Selenite، أما الجبس الأبيض الكتلي الدقيق الحبيبات فيسمى الألباستر Alabaster.

وعند تسخين الجبس فوق حرارة ١٠٠° م فإنه يفقد جزءاً من مياهه،



شكل (٢٣) بلورة جبس
(نظام أحادي الميل).

ويصبح نصف مائي Semihydrate ، وحينئذ يمكن سحقه إلى دقيق يصبح كالمعجون إذا أضيف إليه الماء ويتصلب بسرعة، ويشع حرارة أثناء تصلبه. وهو لهذا يستخدم في صناعة الاسمنت وفي الأغراض المعارية كعمل التاثيل والمصيص للبناء ، كما يستخدم في صناعة الأسنان وفي الصناعات الكيماوية وفي صناعة الأسمدة. ويوجد الجبس عادة مصاحباً لرواسب الصخور الملحية. ويكثر وجوده في الولايات المتحدة الأمريكية وفي فرنسا وأسبانيا وألمانيا، ويوجد في صخور العصر المايوسيني على ساحل خليج السويس وفي سيناء، وعلى ساحل البحر الأحمر.

الفوسفات

أباتيت Apatite :

ويتركب هذا المعدن كيماوياً من فوسفات (فلوريد- كلوريد- أيدروكسيد) الكالسيوم. وهو أكثر معادن مجموعة الفوسفات انتشاراً. ويتبلور حسب النظام السداسي، ويوجد عادة في هيئة كتل دقيقة الحبيبات، ونادراً ما يوجد في شكل بلورات منفصلة على هيئة منشورات

سداسية. ولونه بين الأبيض والبني، وعادة ما تكون بلوراته الكبيرة خضراء باهتة أو زرقاء ضاربة للاخضرار أو الاصفرار أو بنفسجية أو حمراء أو بنية. وبريقه زجاجي على أوجه البلورة، ودهني على المكسر، وانفصامه غير كامل، ودرجة صلابته ٥، وثقله النوعي ٣,٢.

وهو عظيم الأهمية كمادة خام لصناعة المخصبات الزراعية، ويستخدم الأباتيت الشفاف الملون في أغراض الزينة. ويوجد أساساً في الصخور الرسوبية، ولكنه قد ينشأ أثناء عمليات تصلب كتل الصهير وعملية التحول الصخري. ويوجد الأباتيت في جهات كثيرة من العالم، في كندا وفي الولايات المتحدة وفي الروسيا والنرويج، ويوجد في شمال غرب إفريقيا في تونس والجزائر والمغرب، وتوجد رواسب الفوسفات في مصر في سفاجه والقصير على ساحل البحر الأحمر، وفي منطقة السباعية بوادي النيل وفي سيناء وفي الواحات الخارجة بالصحراء الغربية.

السيليكات

تشمل هذه المجموعة من المعادن نحو ثلث المعادن المعروفة في الطبيعة، ويبلغ وزن معادن السيليكات نحو ٧٥٪ من وزن قشرة الأرض. وهي تدخل في تركيب صخور الصهير، كما تدخل في تركيب الصخور الرسوبية والصخور المتحولة.

ومعظم السيليكات ذات تركيب كيماوي معقد. وهي تتكون أساساً من وحدة (س أ ٤)-٤ في شكل رباعي الأوجه، حيث توجد ذرة أو أيون السيليكون في مركزه تحيط بها ذرات الأوكسيجين في أركانه الأربعة. وتنشأ مختلف أنواع معادن السيليكات من ارتباط وحدة رباعي الأوجه الأساسية

مع وحدة أخرى أو أكثر بطريقة معينة مميزة لكل مجموعة. والسيليكات التي يحدث أن تحل في نسيجها بعض أيونات من السليكون تسمى ألوموسيليكات Alumosilicates .

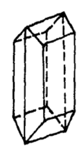
وفيما يلي وصف لمعادن السيليكات الشائعة الوجود في الصخور:

الأوليفين Olivine :

وهو عبارة عن مجموعة رباعي الأوجه المستقلة (س أ ٤)-٤، وتضم هذه المجموعة معادن أخرى أهمها الزركون Zercone والجارنت Garnet . ويتركب الأوليفين كيماوياً من سيليكات المغنسيوم والحديدوز، ويتبلور حسب نظام المعيني القائم، وبلوراته ذات شكل عمداني قصير، وهي قليلة الوجود، وكثيراً ما يوجد الأوليفين في شكل كتل أو حبيبات صلبة، ولونه أخضر بجميع درجاته وبني أو أسود، وألوانه المثالية هي الأخضر الضارب للاصفرار والأخضر الزيتوني. وبريقه زجاجي ودهني، وانفصامه غير كامل أو متوسط، والمكسر غير مستوٍ، والصلابة ٦,٥ - ٧، والوزن النوعي ٣,٣-٣,٥ .

ويعتبر الأوليفين من المعادن الهامة المكونة للصخور القاعدية والفوق قاعدية وهي الصخور الفقيرة في نسبة السيليكا. وهناك عينات من الأوليفين الشفاف تسمى Crysolite وهو معدن شبه كريم.

ويتحلل الأوليفين- خاصة العينات منه التي تحتوي على نسبة أكبر من المغنسيوم (وتسمى فورستيريتForsterite) تحت تأثير عوامل التجوية، وينتج عنه السربنتينSerpentine وهو يوجد بكثرة في جزيرة الزّبرجد (سان جونز) جنوبي مرسى علم في البحر الأحمر خصوصاً أنواعه الشفافة



شكل (٢٤) بلورة أوليفين
(نظام معيني قائم) وتشبهها أراجونيت

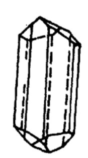
ذات اللون الأخضر المعروفة باسم الزبرجدPeridot .

معادن البيروكسينات Pyroxene

وتركيبها البلوري أكثر تعقيداً، وتتميز بلورات البيروكسينات بأنها غالباً ما تكون منشورية، وتتقاطع أوجه المنشور في زوايا قائمة تقريباً. ويعتبر الأوجيت من أكثر معادن المجموعة انتشاراً.

أوجيت Augite :

ويتركب كيماوياً من سيليكات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألمنيوم ويتبلور حسب نظام أحادي الميل. وتبدو البلورات في شكل منشورات قصيرة ومسطوحات، ولون الاوجيت أخضر مسود أو أسود، وبريقة زجاجي، وانفصامه متوسط أو كامل في مستويين بزاوية مقدارها ٩٠° . وصلابته بين ٥ - ٦ ، والوزن النوعي ٣,٣ - ٣,٦ . ويدخل الأوجيت في تركيب الصخور النارية والمتحولة.



شكل (٢٥) بلورة أوجيت (نظام أحادي الميل)

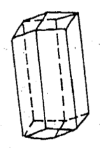
معادن الأمفيبول Amphibole

يمكن تمييز هذه المجموعة من المعادن عن معادن البيروكسين ببلوراتها الصفائحية أو النّصليّة الطويلة، والتي قد تبدو أحياناً في هيئة ليفية، وكذلك بواسطة إنفصامها الكامل في مستويين بزاوية مقدارها ١٢٠° (أو ٦٠°). ويعتبر معدن الهورنبلد مثالاً واضحاً لهذه المجموعة.

الهورنبلند Hornblende:

ويتركب كيماويا من سيليكات الكالسيوم والحديد والمغنسيوم والألومنيوم والايدروكسيد والصوديوم. وتركيبه شديد التعقيد وغير ثابت. ويتبلور حسب نظام أحادي الميل. وهو مثل الأوجيت يدخل في تركيب الصخور النارية والمتحولة. ويصعب التفريق بينه وبين الأوجيت عن طريق اللون والبريق والصلابة، فهما متشابهان إلى حد كبير في تلك الصفات. ولكن من الممكن تمييزه عن الأوجيت عن طريق مميزاته الخارجية الآتية:

(أ) شكل بلوراته: وهي منشورات طويلة تمتد امتداداً كبيراً، أو عبارة عن أعمدة مقطعها المستعرض سداسي، أو قد تتخذ شكل الألياف الطويلة.



شكل (٢٦)بلورة هورنبلند (نظام أحادي الميل)

(ب) أن انفصام بلوراته أكمل من الأوجيت في مستويين بزوايا مقدارها ١٢٠° أو ٦٠° بين المستويين.

(ح) أن وزنه النوعي أقل نوعاً من الأوجيت إذ يتراوح بين ٣,١-٣,٣. ويشيع وجود اد بلد في الصخور النارية الحامضية والمتوسطة الحموضة كالجرانيت واسيانيت والدايوريت، ويوجد أحياناً في الصخور فوق القاعدة مثل الهورنبلنديتHornblendite كما يكثر وجوده في الصخور المتحولة عن أصل ناري.

السيليكات الصفائحية

وهي مجموعة أخرى من معادن السيليكات تتبلور حسب نظام أحادى الميل وتتميز هذه المجموعة من وجهة النظر الكيماوية بأنها - مثل مجموعة الأمفيبول- تحتوي على الماء.

وأكثر مجموعات معادن السيليكات الصفائحية شيوعاً هي مجموعة الميكا Mica ويكثر وجودها في صخور الصهير والصخور المتحولة، وبلورات الميكا صفائحية، ويمكن كسرها بسهولة على طول مستوى انفصامها إلى شرائح مرنة رفيعة جداً.

ومن بين معادن الميكاندرس معدني الموسكوفيت والبايوتيت:

الموسكوفيت (ميكا بيضاء) Moscovite :

ويتركب كيماويا من سيليكات البوتاسيوم والألومنيوم والأيدروكسيد وهو عادة عديم اللون، ولكنه قد يبدو مخضراً أو أصفراً باهتاً أو محمراً. وبريقه زجاجي أو لؤلؤى. وهو شفاف. وانفصامه كامل في اتجاه واحد، وشرائحه مرنة، وصلابته ٢,٣ ، ووزنه النوعي ٢,٧ - ٣.

وهو يظهر في الصخور النارية الحامضية كالجرانيت، وخصوصاً في صخور البيجماتيت Pygmatite كما في الهند ويوجد أيضاً في الصخور المتحولة وفي الرواسب المنقولة كالتكوينات الجيرية والطينية. وهو يستخدم أساساً في الصناعات الهندسية والكهربائية كمادة عازلة ويرتبط وجود الرواسب الاقتصادية التجارية منه بصخور البيجماتيت. ويعدن الموسكوفيت في منطقة موسكو في Moscovy بالاتحاد السوفيتي منذ القرون الوسطى. ومن هنا جاء إسم المعدن. ويصدر قسم منه إلى دول غرب أوربا.

بايوتيت (ميكا سوداء) **Biotite** :

ويتركب كيماوياً من سيليكات البوتاسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم والأيدروكسيد. وهو يختلف عن الموسكوفيت بلونه البني أو الأسود، كما أنه أقل شفافية منه، إذ أن البايوتيت نصف شفاف. ووزنه النوعي أكبر نوعاً من الموسكوفيت(٢ - ٣,١). وحينما تتأثر الميكا السوداء بالعوامل الجوية يصبح لونها أحمرا برونزيا. ويوجد البايوتيت في صخور الصهير كالجرانيت والدايوريت والجابرو Gabbro ، كما يوجد في الصخور المتحولة كالنيس والشست.

معدن التالك (حجر الصابون) Talc :

ويتركب كيماوياً من سيليكات المغنسيوم المائية ويتبلور حسب نظام أحادي الميل، ولكن بلوراته نادرة، وغالباً ما يوجد في شكل كتل خفية التبلور حبيبية أو صفائحية. وهو أبيض اللون أو أخضر ضارب إلى الزرقة أو فضي. وبريقه عادي لؤلؤى، وهو يصبح معتماً في الكتل المندمجة. وانفصامه كامل في مستوى واحد، وتنشأ عنه صفائح قابلة للإنثناء، وهو دهني الملمس، ودرجة صلابته ١، ووزنه النوعي ٢,٧ - ٢,٨.

وهو معدن ثانوي النشأة، يتكون نتيجة لعمليات التحول التي تصيب السيليكات الغنية بالمغنسيوم خصوصاً الأوليفين والبيروكسينات ومعادن الأمفيبول، وكذلك من تحول الصخور المغنيسية كالبيريدوتيت والجابرو والدولوميت بتأثير الحرارة والضغط في مناطق التحول الاحتكاكي والإقليمي، أو بتأثير محاليل الصهير الحارة.
ويعدن التالك في جهات كثيرة من العالم كالولايات المتحدة وفرنسا وإيطاليا وكندا، ويوجد في عدة مناطق بالقسم الجنوبي من الصحراء الشرقية المصرية.

ويستخدم في صناعة المواد العازلة للحرارة كالطوب الحراري، وصناعة الورق والصابون ومساحيق الزينة ومواد التشحيم.

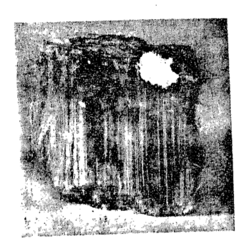
السربنتين Serpentine :

ويتركب كيماوياً من سيليكات المغنسيوم المائية. ويوجد في شكل كتل جبيبية أو صفائحية أو في هيئة ليفية. ولا يوجد سوى نوع واحد من السربنتين وهو الانتيجوريتAntigorite الذي يتميز بوجوده في شكل

بلوري. ولون السربنتين متباين، فنجده أخضراً بجميع درجات هذا اللون وأحياناً أخضر مسوداً.

وكثيراً ما نجده متلوناً في بقع منتظمة، ومن هنا جاءت تسميته عن اللاتينية Serpens. وبريقه زجاجي دهني، ولا نشاهد فيه إنفصاما في سوى عينات الانتيجوريت. وصلابته ٢,٥ - ٤. والوزن النوعي ٢,٥ - ٢,٦.

وينشأ السربنتيين أثناء عمليات التحول التي تصيب الصخور القاعدية الغنية بالمعادن المغنيسية كالأوليفين والبيروكسينات ومعادن الأمفيبول، كما يتكون من صخور الدولوميت المتحولة.



شكل (٢٧) المظهر الليفي كما يوضحه الاسبستوس

وهناك عينات من السربنتين تتميز بنسيجها الليفي الرفيع، وتسمى كريزوتيل- أسبيستوس Chrysotile-Asbesots وهو معدن أبيض وأحيانا أصفر مخضر، وبريقه حريري ودرجة صلابته ٢ - ٣. ويكسر هذا المعدن إلى ألياف مرنة قابلة للثني بيضاء ثلجية. ويوجد عادة ممتداً في الكسورفي شكل عروق وسط السربنتين المندمج. ويستخدم الاسبيستوس

كعازل حراري. وتستخدم الأنواع الكتلية من السربنتين في أغراض البناء وزخرفة المباني، وخاصة ما يسمى بالرخام الأخضر وهو النوع المتحول عن صخر الدولوميت.

الكاولينيت Kaolinite :

ويتركب كيماوياً من سيليكات الألومنيوم المائية، ويوجد في هيئة كتل مندمجة، أو طين متماسك يمكن سحقه بين الأصابع، وبلوراته الصغيرة عديمة اللون، وبريقه مطفي، والمكسر أرضي، ودرجة صلابته ١، ووزنه النوعي ٢,٦، وملمسه دهني، وتنبعث منه رائحة طينية مميزة، وعندما يكون جافا يسهل عليه امتصاص الرطوبة ويصبح لزجاً.

وينشأ الكاولينيت- على عكس معادن السيليكات التي سبق وصفها- أساساً على سطح الأرض أثناء عمليات تجوية معادن الألومو- سيليكات خصوصاً معادن الميكا والفلسبار.

جلوكونيت Glauconite:

وهو يشبه في تركيبه الكيماوي أنواع الميكا الحديدية، ويتميز عنها باحتوائه على نسب أكبر من الحديد والماء والبوتاسيوم. وهو يوجد في شكل حبيبي في طبقات الصخور الرسوبية البحرية النشأة. ولونه يختلف بين الأخضر والأخضر المسود. وبريقه مطفي، ودرجة صلابته ٢ - ٣، ووزنه النوعي ٢,٢ - ٢,٨.

وهو يستخدم في صناعة الأسمدة الكيماوية البوتاسية، وكطلاء أخضر، ولإلانة المياه العسرة.

معادن الفلسبار Felspars

تتبلور معادن الفلسبار حسب نظام ثلاثي الميل أو أحادي الميل، وألوانها فاتحة، وصلابتها ٦ - ٦,٥، وبريقها زجاجي وانفصامها كامل أو متوسط في مستويين بزاوية مقدارها ٩٠°، والوزن النوعي ٢,٥ - ٢,٧.

وتنقسم الفلسبارات إلى مجموعتين ثانويتين حسب تركيبها الكيماوي:

(ا) فلسبارات بوتاسية صوديومية وتسمى أنورثوكلاس Anorthoclases.

(ب) فلسبارات كلسية صوديومية وتسمى بلاجيوكلاس Plagioclases.

معادن الأنورثوكلاس

معدن الأرثوكلاس Orthoclase

ويتركب كيماويا من سيليكات البوتاسيوم والالومنيوم، وهو أكثر معادن مجموعة الفلسبارات البوتاسية انتشاراً، وهو يحتوي دائما على شوائب من الصوديوم، وبلوراته مسطحة مستطيلة أحادية الميل. وهو مكون أساسي لكثير من الصخور النارية والمتحولة. ولونه متباين، فهو يقرب أحياناً من اللون الأبيض أو الأبيض الحمر أو الوردي أو الأحمر الدموي أو الأصفر، وانفصامه في مستويين بزاوية مقدارها ٩٠°، ومن هنا جاءت تسميته عن الكلمتين الأغريقيَّتين Orthos ومعناها «مستقيم» و Klasis ومعناها «مكسر». والانفصام كامل في مستوى واحد وفي الآخر متوسط، والصلابة ٦ والوزن النوعي ٢,٥.

ويتحلل المعدن بسهولة بواسطة المياه الكربونية، وتتخلف عنه رواسب

الكاولين والسيليكا والميكا البيضاء، وهو شائع في الصخور النارية كالجرانيت والسيانيت، وفي الصخور المتحولة كالنيس والشيست، كما يوجد في صخور البيجماتيت في هيئة بلورات كبيرة. ويستخدم في صناعة الزجاج الصيني.

معادن البلاجيوكلاس

وتضم مجموعة من المعادن التي تتركب كيماويا من خليط من الفلسبار الكلسي، والفلسبار الصودي بنسب مختلفة. ولهذا تنشأ سلسلة من مركبات تختلف عن بعضها في التركيب الكيماوي وفي الصفات العامة.

ويسمى أحد طرفي هذه السلسلة باسم معدن ألبيت Alpite أو الفلسبار الصودي، ويتركب من سيليكات ألومنيوم وصوديوم، ويدعى الطرف الثاني باسم انورثيت Anorthite أو معدن الفلسبار الكلسي، ويتركب من سيليكات الألومنيوم والكالسيوم. وفيما بين طرفي السلسلة نجد معدن الأوليجوكلاس Oligoclase ومعدن الأنديزيت Andesite واللابرادوريت Lapradorite وجميعها تحتوي على جزيئات الكالسيوم بنسب متفاوتة.

شكل (٢٨) بلورة ألبيت
(نظام ثلاثي الميل)

وتدخل معادن البلاجيوكلاس في تركيب كثير من الصخور النارية والمتحولة. وهي جميعاً تتبلور حسب نظام ثلاثي الميل، والبلورات المنفصلة

نادرة الوجود، إذ تتميز معادن البلاجيوكلاس بوجودها في شكل بلورات توأمية بسيطة أو مركبة.

وتتميز معادن البلاجيوكلاس عن بعضها بعض الشيء، ويمكن تمييزها عادة بوضوح عن معادن الفلسبار الصودي البوتاسي. وفي بعض الحالات يمكن تمييز معادن البلاجيوكلاس عن معادن الأنورثوكلاس بواسطة اللون الذي يكون في الحالة الأولى رماديًّا ضاربا للاخضرار، بينما يكون في حالة الأرثوكلاس محمراً أو مصفراً، ويعتبر النظام البلوري التوأمي صفة واضحة مميزة لمعادن البلاجيوكلاس. وفي الحالات التي يتعذر فيها الفصل بين البلاجيوكلاس والارثوكلاس بالعين المجردة، لا يجد الدارس في الحقل حلا سوى تقرير المعدن مبدئياً على أنه من معادن الفلسبار.

الصخور

الصخور التي تتكون منها قشرة الأرض عبارة عن مركب معدني ينشأ عن اندماج مجموعة من المعادن، وقد يظل ثابتاً وقد يتغير.

وقد يتركب الصخر من معدن واحد فيسمى وحيد المعدن Monomineral rock أو يتركب من مجموعة من المعادن، وحينئذ يدعى متعدد المعادن Polymineral rock وهناك العديد من الصخور التي تتركب من معدن واحد، نذكر من بينها الرخام الذي يتركب من حبيبات بلورية من معدن الكالسيت، والكوارتزيت Quartzite الذي يتكون من معدن واحد هو الكوارتز ثم الجبس. ويشيع في الطبيعة وجود الصخور التي تتركب من مجموعة من المعادن، ومثلها الجرانيت الذي يتركب أساساً من الكوارتز والفلسبار والبايوتيت، وصخر السيانيت الذي يتركب من الفلسبار والهورنبلند والميكا.

ولما كانت المعادن المعروفة التي تتمثل في قشرة الأرض عديدة (نحو ٣٠٠٠ معدن منها ٥٠ شائعة الوجود، والمعادن الباقية قليلة أو نادرة) كان من المنتظر أن نجد أنواعاً لا نهاية لها ولا حصر من الصخور. ولكننا نجد في الواقع أن عدد أنواع الصخور يقل بكثير عن عدد المعادن. ويرجع السبب في ذلك إلى أن الصخور تتكون في ظروف طبيعية وكيماوية عديدة ترتبط بمرحلة محددة من مراحل العمليات الجيولوجية. لهذا نجد أن عدداً محدوداً من المعادن التي تدخل في تركيبها يستطيع أن ينشأ في ظروف معينة ويبقى في حالة توازن ثابتة.

ويمكن تمييز الصخور عن بعضها عن طريق:

١ - تمييز المعادن الرئيسية وتحديد خصائص وصفات كل منها، ثم تمييز المعادن الثانوية أو الإضافية accessory minerals التي لا تغير من طبيعة الصخر سواء وجدت أم لم توجد.

٢ - دراسة الظاهرات الخارجية للصخر Structure والمعادن المكونة له، أي درجة التبلور، وشكل البلورات، وحجم حبيبات المعادن التي تكون الصخر، وتتوقف هذه الظاهرات الخارجية على طبيعة الظروف التي تتكون بتأثيرها الصخور.

٣ - دراسة نسيج الصخر Texture ويقصد به تركيب الصخر، أي نظام وترتيب بلورات المعادن التي تدخل في تركيبه.

ويمكن تقسيم الصخور بناء على أصل نشأتها إلى ثلاث مجموعات:

١ - **الصخور النارية Igneous** او صخور الصهير Magmatic وهذه تتكون حينما تبرد كتل الصهير وتتبلور.

٢ - الصخور الرسوبية **Sedimentary:** وهي التي تتكون على سطح الأرض نتيجة لتحطيم الصخور الأقدم وتعرضها لعمليات التفكك الميكانيكي والتحلل الكيماوي، ولتأثير عوامل التعرية، ولفعل الكائنات الحية نباتية وحيوانية.

الصخور المتحولة **Metamorphic:** وهي التي تتكون من تحول الصخور النارية والصخور الرسوبية تحت ضغط شديد وحرارة مرتفعة، وبمساعدة المواد الغازية التي تنبعث من أفران الصهير المجاورة للصخور الأصلية.

وفيما يلي دراسة لمميزات الصخور الهامة الشائعة الوجود في قشرة الأرض.

صخور الصهير أو الصخور النارية

تنقسم صخور الصهير إلى ثلاث مجموعات حسب الظروف التي بتأثيرها تصلبت كتل الماجما أو الصهير.

الجموعة الأولى: وهي الصخور الجوفية أو العميقة **deep-seated or intrusive rocks** وهي الصخور التي تكونت أثناء تصلب الصهير في أعماق قشرة الأرض.

المجموعة الثانية: وهي الصخور الطفحية effusive وهي التي نشأت من تصلب الماجما التي انبثقت وفاضت على وجه الأرض كاللافا.

المجموعة الثالثة: الصخور تحت السطحية أو المتوسطة (من حيث العمق) intermediate or semi-abyssal, وقد نشأت هذه الصخور أثناء تصلب الصهير في داخل قشرة الأرض ولكن قريبا من السطح.

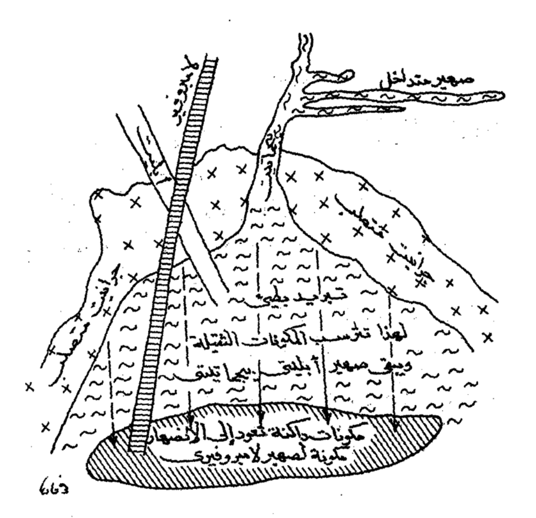
ويتوقف التركيب المعدني لهذه الصخور جميعا على التركيب الكيماوي لكتل الصهير التي اشتقت منها.

هذا ويمكن تقسيم صخور الصهير إلى أربع مجموعات بحسب نسب أوكسيد السيليكون الموجودة بها.

١ - مجموعة الصخور الحامضية acid rocks وتحتوي على نسبة تتراوح بين ٦٥٪ - ٧٥٪ من أوكسيد السيليكون.

٢ - مجموعة الصخور النارية الوسيطة :average igneous rocks وتحتوي على نسبة تتراوح بين ٥٥٪ - ٦٥٪ من أوكسيد السيليكون.

٣ - مجموعة الصخور القاعدية :basic rocks وتحتوي من أوكسيد السيليكون على نسبة تتراوح بين ٤٥٪ - ٥٥٪.



شكل (٣٠) رسم تخطيطي لعمليات تمايز الصهير في فرن جرانيتي

٤ - مجموعة الصخور فوق القاعدية **ultsa-basic rocks** : وتحتوي على نسبة أقل من ٤٥٪ من أوكسيد السيليكون.

وتحتوي الصخور النارية الحامضية على كمية كبيرة من السيليكا لدرجة أن قسماً منها يفيض فينفصل مكوناً لمعدن الكوارتز. وتتعادل نسبة السيليكا مع المواد الأخرى في الصخور النارية الوسيطة، لهذا قد لا تحتوي هذه الصخور على معدن الكوارتز أو قد تحتوي على كمية صغيرة منه.

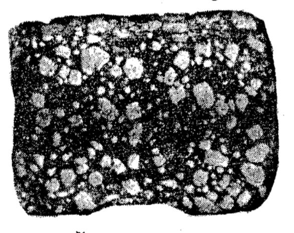
وتحتوي الصخور القاعدية على نسبة صغيرة من السيليكا ، ولهذا فإن المعادن التي تتركب منها والتي تدخل ضمن مجموعة معادن السيليكات كمعدن الأوليفين لا تحتوي على سوى نسبة صغيرة نسبياً من أوكسيد السيليكون. وفي الصخور فوق القاعدية نجد كمية السيليكات قليلة جداً، ولهذا تسود في تكوينها المعادن الفقيرة في السيليكا كالبيروكسينات والأوليفين.

ويمكن تمييز الصخور النارية عن بعضها عن طريق مميزات **مظهرها الخارجي Structure** ونسيجها **Texture**. وترجع هذه المميزات في الأصل إلى الظروف الطبيعية والكيماوية التي كانت سائدة أثناء تكوينها.

ففي أعماق قشرة الأرض تتصلب كتل الصهير ببطء لأن الضغط ودرجات الحرارة تتناقص تدريجياً، كما تظهر المواد المتطايرة التي تسهم في تكوين المعادن وتنشيط عملية التبلور. وينشأ عن هذا تكوين صخور تتركب كلية من معادن بلورية وهي **الصخور الكاملة التبلور Holocrystalline** ، ويوصف نسيج هذه الصخور حينئذ بأنه **كبير الحبيبات Coarse grained** أو جرانيتي **granitoid**.

وحينما تتدفق كتل الصهير على سطح الأرض في شكل لافا **Lava** ، فإن الضغط والحرارة ينخفضان فجأة، وهذا من شأنه أن يقلل من أهمية العوامل المساعدة على التبلور، بل تستجد ظروف لا تلائم عملية التبلور. وينشأ عن هذا تكوين صخور مظهرها الخارجي **زجاجي glassy structure** أو تنشأ كتلة من الصخور **مجهرية البلورات microcrystalline rock mass** لا ترى بلوراتها إلا بواسطة المجهر، ويعرف مظهرها الخارجي حينئذ بالمظهر الأفانيتي **(الزجاجي) aphanitic structure**.

وهناك مظهر آخر قد تبدو به الصخور السطحية، كما تتميز به الصخور تحت السطحيـــة أيضـــاً ويعرف بالمظهر البورفـــيري Porphyritic structure ، ويبدو الصخر حينئذ مكوناً من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبياً تسمى فينوكريست Phynocrysts مبعثرة في وسط من حبيبات المعادن الدقيقة المكونة لكتلة الصخر. وترجع نشأة هذا المظهر البورفيري إلى أنه أثناء صعود الصهير تجاه سطح الأرض تجد بعض المعادن فرصة تتيح لها أن تزهر، بينما تتصلب كتلة الصهير الأساسية بسرعة عقب انبثاقها وطفحها على سطح الأرض.



شكل رقم(٣١)صخر البورفيريت. يتضح فيه المظهر البورفيري، فهو يحتوي على بلورات كبيرة (فينوكريست) بيضاء من الفلسبار في وسط زجاجي أو أفانيتي.

ويعتبر المظهر البورفيري هو المظهر الشائع في الصخور تحت السطحية، وقد تتخذ تلك الصخور المظهر الجهري للبلورات والمظهر الأفانيتي أيضاً.

وتتميز صخور الصهير عامة بنسيج مندمج أو كتلي **Compact or maasive**، كما تتميز الصخور الطفحية أيضاً بالنسيج المسامي **Porous Texture** الذي ينشأ بسبب وجود الغازات في الصهير المتصلب.

من هذا نرى أنه من الممكن تحديد الظروف التي نشأت فيها الصخور النارية وذلك عن طريق دراسة مظهرها الخارجي ونسيجها.

ويعتبر **لون الصخر** من الخصائص الهامة التي تساعد على تحديد وتميـيز الصخور النارية بعضها عن بعض. ويتوقف لون هذه الصخور على نسبة ما تحتويه من معادن سيليكية فاتحة اللون كالفلسبارات إلى نسبة ما تحتويه من معادن سيليكية داكنة (مغنيسية حديدية).

وعند تعيين صخور الصهير وتميـيزها عن بعضها، ينبغي للدارس أن يكون قديراً على تقدير وزنها النوعي، وذلك بوزنها أو تعيين ثقلها في راحة اليد، ويتراوح الثقل النوعي للصخور الحامضية بين ٢,٥ - ٢,٧، وللصخور فوق القاعدية بين ٣,١ - ٣,٢٥.

ويمكن تميـيز صخور الصهـير عن بعضها بالتقريـب ماكروسكوبيا macroscopic أي بالعين المجردة، وذلك بتعيين الخصائص المظهرية وصفات النسيج الخاصة بكل صخر على نحو ما سبق تبيانه. وللحصول على بيانات دقيقة خاصة بهذه الصخور ينبغي استعمال المجهر. والقائمة التالية التي تشمل أهم أنواع صخور الصهير تساعد على تميـيز هذه الصخور بالعين المجردة.

وبالاستعانة بتلك القائمة يمكن تميـيز صخور الصهير على النحو الآتي:

١ - **تعيين حامضية الصخر**: الصخر الذي يحتوي على معدن الكوارتز، يمكن وضعه ضمن الصخور الحامضية. أما الصخر الذي يحتوي على الأوليفين فيوضع ضمن قائمة الصخور فوق القاعدية.

أما تعيين الصخور النارية الوسيطة والصخور القاعدية فمسألة أكثر

تعقيداً نسبياً، إذ أن هذه الصخور قد تحتوي على قليل من الكوارتز والأوليفين أو قد لا تحتوي عليها إطلاقاً. وفي الحالة الأخيرة يمكن للدارس أن يميزها عن بعضها عن طريق اللون. ففي الصخور النارية الوسيطة نجد أن المعادن الفاتحة اللون تشيع في الصخر، وحينما يصعب أو يستحيل تمييز المعادن بالعين المجردة- لأن بعض الصخور الوسيطة تتميز بدقة الحبيبات المعدنية- فإن كتلة الصخر غير المتبلورة تبدو أيضاً فاتحة اللون، أما الصخور القاعدية فتسودها الألوان الداكنة. ويتفق هذا مع القاعدة التي تحكم توزيع الألوان في صخور الصهير، إذ نجد تغيراً تدريجياً في الألوان ابتداء من اللون الفاتح الذي يميز الصخور الحامضية، إلى اللون المتوسط الذي يميز الصخور الوسيطة، إلى اللون الداكن الذي تتميز به الصخور القاعدية، ثم إلى اللون الأسود الذي تتصف به الصخور فوق القاعدية.

٢- وحينما يتم تمييز معدن فاتح اللون يدخل في تركيب صخر ما، فإن ذلك يسمح للدارس بوضع الصخر في أي من الأعمدة الثلاثة رقم ٥ أو ٦ أو ٧ في القائمة. أما الصخور التي لا تحتوي على معادن فاتحة اللون فإننا نضعها في العمود رقم ٨ من القائمة. وحينما تتميز الصخور بمظهر زجاجي أو أفانيتي أو بمظهر مجهري البلورات، فإنه من الصعب حينئذ أن نميز فيها المعادن الفاتحة اللون بالعين المجردة.

٣- وحينما يتم لنا تعيين حامضية الصخر، وتمييز لون المعادن المكونة له، فإننا سنجد أن ذلك يرشدنا إلى مكان معين من الأعمدة الدالة على الصخور في القائمة. مثال ذلك أننا لو ميزنا صخراً نارياً وسيطاً يحتوي على معدن البلاجيوكلاس، فإن ذلك يرشدنا إلى المكان في القائمة الذي يحتوي على أسماء الصخور الآتية: أنديزيت، دايوريت- بورفيريت، دايوريت. فكل هذه الصخور قد نشأت وتكونت من كتلة صهير واحدة، كما أن

نوع الصخر	نسبة السيليكا %	المعدن المشير إلى الحامضية	سيليكات داكنة اللون	صخور تحتوي على سيليكات			صخور لا تحتوي على سيليكات فاتحة
				تحتوي على أورتوكلاس	تحتوي على نيفيلين	تحتوي على بلاجيوكلاس	
صخور حامضية فاتحة اللون	٦٥ - ٧٥	كوارتز	بايوتيت هورنبلند أوجيت	أبسيديان ليباريت كوارتز بورفيري (جرانيت)		بتشستون أو صخر القار داسيت كوارتز بورفيريت (جرانو-(كوارتز) ديوريت)[1]	
صخور وسيطة التركيب متوسطة اللون	٥٥ - ٦٥		هورنبلند بايوتيت أوجيت	صخر القار تراكيت سيانيت بورفيري (سيانيت)	(نيفيلين) (سيانيت)[2]	صخر القار انديزيت دايوريت بورفيريت (دايوريت)	
صخور قاعدية داكنة اللون	٤٥ - ٥٥		أوجيت هورنبلند			تراكليت بازلت دياباز (جابرو)	
صخور فوق قاعدية سوداء اللون	أقل من ٤٥	أوليفين	أوجيت				(دونيت) (بيريدوتيت) (بيرو كسينيت)

(١) تنبغي ملاحظة أن كمية واضحة من معدن الكوارتز (كوارتز منفصل) توجد في هذا الصخر. ونسبة أكسيد السيليكون في هذا الصخر قليلة نسبياً (٦٣٪) ولهذا يقترب هذا الصخر من مجموعة الصخور النارية الوسيطة. والصخر يحتوي على بلاجيوكلاس القاعدي نظراً لقلة نسبة أوكسيد السيليكون فيه.

(٢) يرى الكثيرون اعتبار هذا الصخر ممثلاً لمجموعة مستقلة من الصخور تعرف بمجموعة الصخور القلوية، وتحتوي على نحو ٥٠٪ من أوكسيد السيليكون.

تركيبها متماثل. ويمكن تعيين الاختلاف بينها بالظروف التي بتأثيرها تصلبت كتلة الصهير.

والصخور الموجودة بالقائمة والموضوعة بين قوسين هي صخور جوفية عميقة، والصخور تحت كل منها خط واحد هي صخور وسيطة العمق أو تحت سطحية. والصخور التي تحت كل منها خطان هي صخور طفحية أو بركانية مجهرية البلورات، أما الصخور الأخرى فهي صخور طفحية زجاجية المظهر. هذا وقد تدخل بعض الصخور التي تحت كل منها خط واحد ضمن الصخور الطفحية.

٤- ودراسة المظهر الخارجي للصخر وتمييزه تسمح لنا بوضعه إما ضمن الصخور النارية الجوفية العميقة أو ضمن الصخور البركانية. فإذا كان مظهر الصخر يدل على أنه ناري جوفي، أمكننا تقرير اسمه بسهولة ويسر، فهو صخر الدايوريت في المثال الذي ضربناه. أما إذا كان الصخر طفحياً فإن عملية التمييز لا بد أن تستمر.

٥- واستمرار عملية التمييز يتطلبها تقرير عمر الصخر الطفحي، إذ تؤدي درجة قدم الصخر الطفحي إلى اختلاف واضح وأساسي في نسيج الصخر، كما تؤدي إلى تباين واضح بعض الشيء في تركيب الصخور من الوجهة المعدنية. ولهذا نستطيع أن نميز بين صخر حديث يبدو جديداً في مظهره يسمى بالصخر الطفحي الحديث Neotype ، وبين صخر قديم في مظهره يدخل ضمن مجموعة الصخور الطفحية القديمة Paleotype. والصخور الطفحية الحديثة هي الصخور التي تحت كل منها خطان في القائمة المرفقة، أما الصخور الطفحية القديمة فتدخل ضمن الصخور التي تحت كل منها خط واحد.

وعادة ما نجد نسيج الصخور الطفحية الحديثة مسامياً، أما نسيج الصخور الطفحية القديمة فيبدو مندمجاً. وإذا وجد بالصخر الطفحي بلورات معدنية كبيرة نوعاً Phenocrysts ، فإننا نجدها قد تحللت في الصخر الطفحي القديم، إذ أن السيليكات الفاتحة اللون التي توجد بها تتحول إلى كاولينيت، كما أن لون كتلة الصخر الطفحي القديم يتغير هو الآخر نتيجة لتفاعلات كيماوية مختلفة، ويستحيل إلى لون أدكن.

٦- يحتوي العمود رقم ٤ على المعادن التي تتركب من سيليكات داكنة اللون، وهي تدخل في تركيب مجموعة من الصخور تتميز بحامضية معلومة. وتبدو هذه المعادن في العمود مرتبة من أعلى إلى أسفل بحسب كثرة وجود كل نوع منها أو قلته في مجموعة أو أخرى من الصخور. معنى هذا أننا نجد في حالة الصخور الحامضية أن معدن البايوتيت هو المعدن السائد من بين المعادن الداكنة اللون، بينما نجد معدن الهورنبلند أقل وجوداً يليه في النهاية معدن الأوجيت.

هذا ويكتمل تمييز الصخور النارية حينما يتم تعيين المعادن الداكنة اللون التي تحتويها.

وينبغي أن نشير هنا إلى أن الصخور التي تشملها القائمة هي الصخور الأساسية المثالية فقط، إذ نجد في الطبيعة الكثير من الصخور الأخرى التي تقع- من حيث تركيبها- في مركز وسط أو انتقالي بين تلك الصخور المثالية.

وفيما يلي دراسة لأهم الصخور كل على حدة:

الصخور فوق القاعدية

وهي صخور جوفية عميقة كاملة التبلور، وتتميز بثقل نوعي مرتفع (حوالى ٣,٢٥) مرده إلى التركيب المعدني لتلك الجموعة من الصخور، ويدخل في تركيب هذه الصخور معدنان هما الأوليفين والبيروكسين، وهي لا تحتوي في الواقع على غير هذين المعدنين من فصيلة السيليكات. ويمثل هذه الجموعة الصخرية ثلاثة صخور هي: البيريدوتيت والبيروكسينيت والدونيت.

صخر البيريدوتيت Peridotite:

ويتركب أساساً من معدن الأوليفين، كما توجد به كمية أقل من معدن البيروكسين ولونه أخضر داكن أو أسود. ويتوقف هذا على نوع الأوليفين والبيروكسين، وعلى أي حال فإن المعادن الحديدية المغنيسية هي السائدة فيه.

صخر الديونيت Dunite:

يتركب أساساً من معدن الأوليفين، ويدخل في تركيبه أيضاً معدن الكروميت chromite والماجنيتيت، ولكن بكميات قليلة، وغالباً ما يحتوي هذا الصخر على معدن البلاتين.

صخر البيروكسينيت Pyroxinite:

ويغلب في هذا الصخر- كما يدل الاسم- وجود معدن البيروكسين، كما يوجد به معدن الأوليفين ولكن بكميات قليلة.

هذا ويحتوي صخر البيريدوتيت وصخر البيروكسينيت عادة على خام الحديد والكروم والنيكل.

الصخور القاعدية

وتتركب هذه المجموعة أساساً من معدن البيروكسين (أوجيت) والبلاجيوكلاس (أحياناً أنورتيت وغالباً لبرادوريت)، ويضاف إلى ذلك معدن الهورنبلند ثم معدن الأوليفين بنسبة أقل. وتعطي المعادن الداكنة اللون لهذه الصخور ألوانها الداكنة. وتبدو فيها حبيبات معدن البلاجيوكلاس الرمادية ظاهرة واضحة وسط كتلة الصخر الداكنة اللون. ويمثل هذه المجموعة الصخرية صخر الجابرو وصخر البازلت وصخر الدياباز.

جابرو Gabbro:

صخر من الصخور النارية الجوفية الشائعة الوجود في قشرة الأرض، وهو كامل التبلور، ويتركب من البيروكسين (أوجيت) الداكن اللون أو من الهورنبلند، كما يحتوي على بلورات معدن البلاجيوكلاس الفاتحة اللون. ويمثل المعدن الأخير عادة بواسطة معدن لابرادوريت الذي يبدو بديعاً بلونيه الأزرق والأخضر، وصخر الجابرو أسود اللون ذو نسيج منتظم.

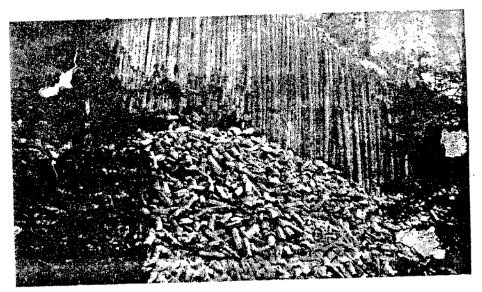
وهناك نوع من الجابرو يعرف بصخر لابرادوريتيت Labradoritite ويتركب كلية من معدن لابرادوريت. ويرتبط بصخور الجابرو وجود رواسب معدن التيتانو- ماجنيتيت Titano-magnetite والنحاس.

بازلت Basalt:

صخر أسود اللون، مظهره الخارجي خفي التبلور أو مجهري البلورات. ويتركب هذا الصخر عادة من كتلة زجاجية المظهر عديمة التبلور تكتنفها بعض البلورات الصغيرة من معدن الأوجيت والبلاجيوكلاس والأوليفين. ويبدو معدنا الأوجيت والأوليفين في الكتلة الصخرية السوداء في شكل بلورات صغيرة أو نقط مشرقة.

دياباز Diabase:

وهو صخر يماثل البازلت في مظهره الخارجي وتركيبه المعدني، ولكنه يختلف عنه في أن قسماً من المعادن المكونة له- وهي الأوليفين والبيروكسينات والأمفيبولات- تتحول بسبب تغيرات ثانوية إلى هورنبلند أخضر اللون، وإلى سربنتين وكلوريت وهما من المعادن الخضراء اللون أيضاً. ويعطي هذا التحول لصخر الدياباز لوناً رمادياً مخضراً داكناً.



شكل (٣٢) البناء العمداني للصخور البازلتية

الصخور النارية الوسيطة التركيب

تتميز هذه المجموعة الصخرية بأن نسبة المعادن الفاتحة اللون فيها أكبر من نسبة المعادن الداكنة. وأكثر المعادن الداكنة شيوعاً في هذه الصخور هي على الترتيب: البايوتيت، والهورنبلند، ثم الأوجيت، والأخيرة أقلها وجوداً في الصخر. ويعزي اللون الفاتح الذي تتميز به الصخور الوسيطة إلى زيادة نسبة ما تحويه من المعادن الفاتحة على ما تحويه من المعادن الداكنة اللون.

ويمثل هذه المجموعة ما يلي من الصخور:

دايوريت **Diorite**:

وهو صخر جوفي عميق، مظهره الخارجي كامل التبلور، ونسيجه منتظم ويمثل المعادن الفاتحة فيه معدن البلاجيوكلاس (أنديزيت إلى أوليجوكلاس). وإلى وجود هذا المعدن يدين صخر الدايوريت بلونه الرمادي الفاتح أو الرمادي الأخضر. ويمثل هذا اللون الوسط الذي تظهر فيه بلورات المعادن الداكنة التي يمثلها على الخصوص معدن الهورنبلند. وتحتوي بعض صخور الدايوريت على معدن الكوارتز، وفي هذه الحالة يدعى الصخر كوارتز- دايوريت أو جرانو دايوريت، لأنه يشبه إلى حد ما صخر الجرانيت، فهو صخر جرانيتي المظهر (كامل التبلور) والنسيج، ولكن نسبة الفلسبار البوتاسي تقل فيه، بينما تزيدُ نسبة البلاجيوكلاس الصودي بعكس الجرانيت.

ويصحب هذا الصخر وجود رواسب الرصاص والزنك والنحاس، كما ينشأ خام الحديد حينما تتلاحم صخور الدايوريت مع الصخور الجيرية.

والصخور الطفحية التي تماثل صخر الدايوريت في تركيبها هي صخر الانديزيت وصخر الدايوريت بورفيريت، كما يماثل صخرا الداسيت والكوارتز- بورفيريت الطفحيان في تركيبها صخر الكوارتز- دايوريت الجوفي.

أنديزيت Andesite :

صخر مظهره الخارجي بورفيري، ويتميز نسيج الكتلة الصخرية الأساسية بأنه مسامي. ولون الصخر رمادي فاتح أو بني فاتح. وكثيراً ما نجد فيه بعض البلورات الصغيرة المشرقة تبدو فيه واضحة براقة، ومثلها بلورات من معدن البلاجيوكلاس الوسيط التركيب (أنديزيت) والهورنبلند أو الأوجيت.

دايوريت- بورفيريت Diorite-Porphyrite :

ويماثل هذا الصخر صخر الأنديزيت في مظهره الخارجي وتركيبه المعدني، وهو صخر طفحي قديم Paleotype ، ونسيجه أكثر اندماجاً من الأنديزيت، كما أن لون كتلة الصخر الأساسية فيه أدكن لوناً. وقد أصابت التجوية بلورات معدن البلاجيوكلاس فيه، ولهذا فإنها تفقد صفاتها الأساسية من حيث لونها ومظهرها وبريقها الزجاجي، وتبدو في هيئة أرضية ترابية.

سيانيت Syenite:

صخر جوفي عميق، ويتركب من معادن الفلسبارات البوتاسية

الصوديومية (أرتوكلاس وميكروكلين)، ويحتوي الصخر أيضاً على معدن الهورنبلند الذي قد يحل محل قسم منه معدن البايوتيت أو أحياناً معدن الأوجيت. ولون السيانيت فاتح أو متوسط، ومظهره كامل التبلور، ونسيجه منتظم الحبيبات.

ويماثل هذا الصخر في تركيبه صخرا التراخيت والأورتوبورفير ولكنهما طفحيان.

تراكيت **Trachyte**:

وهو صخر طفحي مسامي النسيج، ومظهره الخارجي بورفيري، ولونه أصفر فاتح أو أحمر وردي. وكثيراً ما نجد فيه بلورات صغيرة واضحة وسط الكتلة الصخرية، ويمثل هذه البلورات معدن السانيدين Sanidine وهو نوع من الأرتوكلاس يتميز بشفافية وبريق الماء، وأحياناً يحل محل السانيدين بلورات معادن داكنة.

الصخور القلوية

تتميز هذه الصخور بأنها تحتوي على كمية قليلة نسبياً من أوكسيد السيليكون (٤٠٪ - ٥٠٪) وعلى كمية من القلويات تصل إلى نحو ٢٠٪ وأهم أنواع صخوره صخر نيفيلين سيانيت.

نيفيلين - سيانيت **Nepheline-Syanite**:

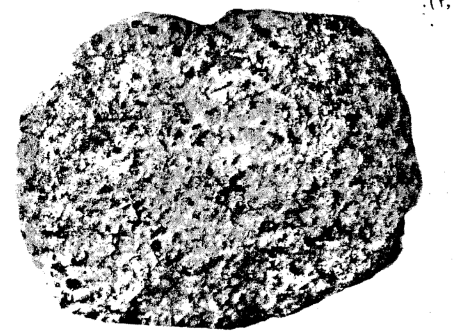
وهو صخر جوفي فاتح اللون، حبيباته خشنة، ويتركب أساساً من معادن

الفلسبار القلوية ومعدن النيفيلين. ويمكن تمييز معدن النيفيلين في الصخر بحبيباته ذات المكسر غير المستوى، وبريقه الدهني الضعيف أو المطفي. ويحتوي هذا الصخر أيضاً على معادن داكنة هي البيروكسينات والأمفيبولات القلوية.

والصخور الطفحية الممثلة لهذا الصخر نادرة جداً.

الصخور الحامضية

تتميز جميع الصخور الحامضية باحتوائها على معدن الكوارتز وكميات كبيرة من الفلسبار خاصة الأرثوكلاس، وهذه المعادن هي التي تعطي لتلك الصخور ألوانها الفاتحة، كما أنها السبب في انخفاض وزنها النوعي (حوالى ٢,٧).



شكل (٣٣) عينة من صخر الجرانيت الكبير الحبيبات.

جرانيت Granite :

صخر جوفي عميق، يتصف مظهره الخارجي بأنه كامل التبلور. ويتميز عادة بحبيبات وسيطة الحجم، ولكن أحياناً نجده خشن النسيج وأحياناً أخرى دقيق الحبيبات. ويتركب أساساً من معدن الكوارتز والفلسبارات البوتاسية كالأورتوكلاس والميكروكلين، كما يحتوي على نسبة قليلة من البلاجيوكلاس. ويتمثل فيه أيضاً معدن أو أكثر من المعادن الداكنة. فنجد فيه معدن البايوتيت الذي يحل محله أحياناً معدن المسكوفيت. ونجد به أيضاً نسباً صغيرة من معدني الهورنبلند والبيروكسين (أوجيت).

ومن السهل تمييز معادن الفلسبار في صخر الجرانيت وذلك عن طريق مظهرها وبريقها، وبلونها الذي يكون عادة أحمر في حالة الأورتوكلاس، أو أبيض أو أصفر رمادي في حالة البلاجيوكلاس. ويوجد الكوارتز في شكل حبيبات لا لون لها أو رمادية دخانية، وقد يتدرج لونها حتى يصبح داكناً، وتوجد حبيبات الكوارتز في هذا الصخر بشكل غير منتظم، وبريقها دهني، ومكسرها غير مستوٍ أو محاري.

وقد يتحول الجرانيت إلى صخر يخلو من الفلسبارات ويحتوي على معادن الكوارتز والميكا فقط، ويسمى حينئذ جرايسين Greisen، ويحدث ذلك بتأثير الأبخرة الحارة والغازات التي تتداخل على طول الشقوق والشروخ منبعثة من فرن الصهير. ويرتبط بوجود الجرايسين وجود القصدير والتجستين Tungsten كما يرتبط بوجوده أحياناً وجود الزرنيخ والموليبدنيوم Molybdenum.

والصخور الطفحية المثلة لصخر الجرانيت هي الليباريت والكوارتز - بورفيري.

ليباريت Liparite :

ومظهره الخارجي بورفيري أو أفانيتي. ولون كتلته فاتح، وكثيراً ما يكون أبيضاً. وتحتوي كتلة الصخر الزجاجية أو الأفانيتية المظهر على بلورات صغيرة واضحة متفرقة من معادن الفلسبار والكوارتز والبايوتيت.

كوارتز- بورفيري Quartz-Porphyry :

وهو يشبه صخر الليباريت، وكتلته مندمجة تتميز بلون داكن نوعاً (بني أو بني محمر أو أصفر رمادي) وتحتوي على معدن الأرتوكلاس الذي يكون عادة على درجة كبيرة من التحلل، ويحتوي هذا الصخر أيضاً على بلورات من الكوارتز البراقة، ونادراً ما نجد فيه بلورات من معادن داكنة اللون.

وإلى جانب هذه الصخور التي شرحناها وورد تسجيلها في القائمة، هناك بعض الصخور الأخرى الهامة التي تنشأ أيضاً عن تصلب كتل الصهير منها :

بيجماتيت Pegmatite :

ويوجد هذا الصخر في الطبيعة على شكل عروق متداخلة بين الصخور النارية الأخرى التي سبقتها في التكوين أو في أي من الصخور التي تغزوها. وقد تكونت هذه الصخور أثناء المرحلة الأخيرة في عملية تصلب الصهير حين يكثر وجود المواد المتطايرة. ويرتبط تكون البيجماتيت عادة بالصهير الجرانيتي الحامضي، ويتميز مظهره بكبر البلورات إلى درجة كبيرة macrocrystalline، وأحياناً تستطيل فيه بلورات الكوارتز والفلسبار وتتشابك، فيبدو مظهر الصخر وكأن نقوشاً هيروغليفية قد نقشت على

مستويات الانفصام، ومثل هذا النوع من البيجماتيت يسمى بالجرانيت الخطي Graphic Granite. ويتركب البيُجماتيت أساساً من معدن الفلسبار والكوارتز كما يحتوي على الميكا وخصوصاً الموسكوفيت وعلى معدن نادر يسمى تورمالين Turmaline.

أوبسيديان Obsidian أو الزجاج البركاني Volcanic Glass :

وهو صخر يتركب من كتلة متناسقة خالية تماماً من البلورات، وتركيبه الكيماوي متنوع، وقد تكونت معظم صخور الأوبسيديان أثناء تبريد اللافا الحامضية. وهي عموماً داكنة اللون تصل في ألوانها إلى اللون الأسود وبريقها زجاجي، ومكسرها محاري.

صخر الخفان (بيوميس) Pumice :

وهو صخر مسامي عديم البلورات، وقد تكون أثناء الثورانات البركانية من صهير غني بالغازات. وبسبب مساميته وبما يمتاز به من نسيج إسفنجي أو فقاعي نجد ثقله النوعي منخفض جداً، ولهذا فهو يطفو فوق سطح الماء.

صخر القار (بتشستون) Pichstone :

وهو صخر حامضي التركيب، يتميز بألوان فاتحة أو متوسطة كاللون الأحمر أو البني أو الأخضر، وهو عديم التبلور ومظهره زجاجي.

وهناك مجموعة أخرى من الصخور نشأت عن طريق ثوران البراكين وهي تعرف بمجموعة الصخور البيروكلاستية Pyroclastic أو صخور الحطام البركاني.

فحينما تثور البراكين تخرج كميات من اللافا المنصهرة، كما تقذف بحطام صخري ومعدني يندفع في الجو مصحوباً ببخار الماء والغازات. وتسمى هذه المقذوفات البركانية بأسماء مختلفة حسب حجم حبيباتها، كما تطلق عليها أسماء صخرية حين تتماسك وتتصلب.

فتكوينات الرماد البركاني Volcanic ash or dust والرمل البركاني حين تلتحم ذراتها وتتماسك تكون صخراً مندمجاً يعرف **بالتوفا البركانية Volcanic Tuff** . أما القذائف البركانية Bombs والكتل البركانية Blocks والحطام الخشن Lappili فيتكون من تماسكها واندماجها ما يعرف بالأجلوميرات البركانية Agglomerate والبريشيا البركانية Breccia . ويدخل في تركيب صخر الأجلوميرات الحطام الصخري المستدير الشكل، أما البريشيا البركانية فتتركب من حطام بركاني مسنن خشن حاد الحواف.

الصخور الرسوبية

تتميز الصخور الرسوبية عن صخور الصهير بأنها تنشأ فوق سطح الغلاف الصخري نتيجة لتأثير العوامل الظاهرية وفعل الكائنات العضوية.

وبينما يتركب جوف الغلاف الصخري كلية من صخور الصهير، نجد أن ٧٠٪ من كتلة سطحه تتركب من الصخور الرسوبية. ويتباين سمك الطبقات الرسوبية من مكان لآخر، وهو عموماً ليس كبيراً، ففي بعض المناطق لا يتجاوز بضع عشرات أو بضع مئات من الأمتار، وفي مناطق أخرى قد يصل هذا السمك إلى نحو ١٥ أو ٢٠ كيلومتراً. وتوجد بعض الصخور الرسوبية في حالة مفككة هشة، وبعضها الآخر في حالة اندماج أو صلابة. فالرمال المفككة حين تندمج بمادة لاحمة تتحول إلى صخر رملي. والحصباء Gravel

حين تلتحم تصير إلى صخر الجمعات Conglomerate. وتتباين المواد اللاحمة في تركيبها. ويتركب معظمها من مركبات كياوية مختلفة تترسب من المياه التي تجري وتتخلل الرواسب والحطام الصخري. فقد تتركب من كربونات الكلسيوم وحينئذ يمكن تعيينها بمعاملتها بحامض الأيدروكلوريك، وقد تتركب من السيليكا التي تتميز بشدة صلابتها وببريقها، وقد تتركب من أكاسيد الحديد، وحينئذ يمكن تميـيزها بلونها الأصفر أو الأحمر أو البني وبثقلها النوعي الكبير، وقد تكون مادة صلصالية تبتل بالمياه بسهولة.

ولتقرير مسامية الصخر الرسوبي أهميته الكبرى من الوجهة الاقتصادية التطبيقية، إذ أن مسامية الصخر لها دلالتها من حيث درجة استطاعتها لإنفاذ الماه أو البترول أو غيره.

وتتباين درجة المسامية Porosity من صخر لآخر حسب نوعه وتركيبه، ففي الصخور الرملية نجد أن المسامية تتراوح بين ٢٨٪ - ٤٠٪، ومتوسطها حوالى ٣٠ - ٣٢٪. وفي الصخور الصلصالية تزيد على ٥٠ - ٥٥٪. وتتصف بعض الصخور الصلبة بالمسامية أيضاً ولكنها عادة ما تكون منخفضة كما هو الحال في الصخور الجيرية.

وتتصف الصخور الرسوبية عادة بالطباقية، ويرتبط تكوين الطبقة بظروف وطبيعة الإرساب. فإذا حدث تغير ولو طفيف في هذه الظروف لترتب عليه تغير في مادة الأرساب، وبالتالي تنشأ طبقة رسوبية جديدة. وهكذا نجد الصخر وقد تكون من عدة طبقات متباينة بعضها فوق بعض. ويمكن تميـيز الطبقات عن بعضها بدراسة تركيبها وحجمها وكثافتها وما تحويه من حبيبات معدنية.

هذا ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية بناء على أصل نشأتها إلى الأقسام الرئيسية الثلاثة الآتية:

١ - **صخور رسوبية كلاستية Clastic أو ميكانيكية Mechanical** : وهذه تدين بنشأتها إلى تحطيم الصخور الأصلية ميكانيكياً، ثم تراكم الحطام الصخري وتماسكه دون أن يطرأ عليه أي تغيير كيماوي. ويتم تحطيم الصخور ونقلها ثم إرسابها بواسطة العوامل الظاهرية.

٢ - **صخور رسوبية كيماوية Chemical** : وهي تنشأ من ترسيب المواد التي تحويها المحاليل عندما ترتفع درجة تركيزها.

٣ - **صخور رسوبية عضوية Organogenic** : وهي التي تنشأ من تراكم هياكل العضويات الحيوانية والنباتية.

وينبغي لتعيين الصخور الرسوبية وتمييزها عن بعضها دراسة مظهرها ونسيجها وتركيبها المعدني كما سبق أن فعلنا في حالة الصخور النارية. ودراسة التركيب المعدني تصلح على الخصوص لتمييز الصخور الرسوبية الكيماوية والعضوية، أما الصخور الرسوبية الميكانيكية فقد تحتوي على حطام متباين من المعادن والصخور. ويدل مظهر الصخور الرسوبية على طبيعة تكوينها، ويتحدد هذا المظهر على الخصوص بحجم وشكل الحطام الصخري أو البلورات. أما نسيج الصخور الرسوبية فيتضح من نظام ترتيب القطع الصخرية أو البلورات.

وفيما يلي دراسة لأهم أنواع الصخور الرسوبية:

الصخور الرسوبية الميكانيكية

تنقسم هذه الصخور إلى أربع مجموعات بحسب حجم الحبيبات التي تدخل في تكوينها.

صخور كبيرة الحبيبات Rudaceous or Psephitic :

وتتركب من حبيبات يزيد قطرها عن ٢ مم. وتسمى هذه الحبيبات حصباء gravel حينما يتراوح قطرها بين ٢ - ١٠ مم، وتسمى حصى Pebbles حينما يكون قطرها بين ١٠ - ١٠٠ مم، وتدعى جلاميد Boulders حينما يزيد قطرها على ١٠٠ مم. وتتميز هذه الأنواع الثلاثة باستدارتها. ثم هناك الكتل Blocks ويتراوح قطرها على ١٠٠ مم، والمخلفات الصخرية Rock waste ويتراوح قطرها بين ١٠ - ١٠٠ مم، والمخلفات* الأرضية Land waste ويتراوح قطرها بين ٢ - ١٠ مم، وهذه الأنواع الأخيرة تتميز بحوافها الحادة.

وينبغي على الدارس عند تعيينه لهذه الصخور أن يلاحظ أولاً تركيب القطع الصخرية، ثم شكل هذه القطع، فإذا كانت مستديرة ينبغي عليه أن يدرس هذه الميزة بدقة وتفصيل لأن هذا يساعد على التعرف على أصل نشأتها: مثال ذلك أن الحصى البحري يكون عادة مفرطحاً أو منبسطاً، بينما يتخذ الحصى النهري شكل البيضة. ويجب أيضاً تعيين حجم القطع التي تدخل في تركيب الصخر، وإذا كان الصخر يتركب من حطام غير متجانس، فيجب تعيين الحجم السائد فيه، وينبغي تمييز المادة اللاحمة ومعرفة تركيبها ومقدار كثافتها وصلابتها:

وفيما يلي دراسة لنوعين من الصخور.

صخر الجمعات المستديرة Conglomerate :

ويتركب من حطام صخري مختلف الأحجام التحم ببعضه وأصبح متماسكاً مندمجاً. وتتميز القطع الصخرية التي تحتويها الجمعات بأنها مستديرة أو قريبة من الاستدارة (شكل ٣٤)، وترجع استدارتها في الأصل إلى تعرضها لفعل التعرية المائية أثناء نقلها على طول المجاري النهرية أو نتيجة لاصطدامها بالسواحل بواسطة فعل الأمواج. وقد تتركب هذه الجمعات من عديد من أنواع الصخور أو خليط من أنواع المعادن التي تتحمل التآكل وتقاوم عوامل التعرية مثل الكوارتز والكوارتزيت وهما من التكوينات الشائعة في هذه الجمعات. وتتباين أحجام المواد التي تدخل في تكوين الجمعات، إذ تبدأ من حبيبات الرمل الخشن إلى الحصباء والحصى، وقد



شكل (٣٤): كونجلوميرات يتركب من حصى مستدير

تحتوي على كتل صخرية يزيد قطرها على نصف متر أو نحوه. وتمتلىء الفراغات البينية التي توجد بين القطع الصخرية بحبيبات الرمال أو بواسطة مادة لاحمة أخرى كالسيليكا أو الصلصال أو كربونات الكالسيوم أو أوكسيد الحديد.

البريشيا أو صخر المجمعات الحادة الحواف **Breccia** :

ويشبه هذا الصخر صخر الكونجلوميرات في نشأته وطريقة تكوينه، ولكنه يختلف عنه في أن القطع الصخرية التي تدخل في تركيبه تكون حادة الحواف غير مستديرة وغير منتظمة. وهناك أنواع انتقالية من صخور المجمعات بين البريشيا والكونجلوميرات يمكن تمييزها بحسب مدى استدارة الحصى والحصباء أو القطع الصخرية التي تدخل في تركيبها. والبريشيا عموماً عبارة عن حطام صخري خشن حاد الأطراف. وحينما يندمج هذا الحطام الصخري اندماجاً تاماً، ويحدث هذا عادة عند المراوح الدلتاوية، فإنها تسمى حينئذ بالمجمعات المروحية أو فانجلوميرات Fanglomerate .

ومن أنواع البريشيا أيضاً ما يعرف بالحطام الجليدي Till ، وهو عبارة عن تكوينات متباينة الأحجام من الحطام الصخري يكتسحه ويجرفه الجليد المتحرك ويرسبه في هيئة حطام غير متجانس التكوينات، وحينما تندمج تكوينات هذا الحطام في شكل صخر فإنه يعرف حينئذ باسم تلليت Tillite

٢ - الصخور الرملية Arenaceous or Psammitic or Sandy Rocks :

وهي صخور واسعة الانتشار على سطح الأرض، وهي تتركب من

حبيبات رملية بعضها خشن (قطرها بين ٢ مم- ٠,٥ مم) وبعضها متوسط (قطرها ٠,٥ مم- ٠,١ مم) وبعضها ناعم (قطرها بين ٠,١- ٠,٠٣ مم).

وتتخذ هذه الصخور ألواناً عدة أهمها اللون الرمادي والأصفر والأحمر والبني. وهي تتكون من حبيبات رملية التحمت ببعضها بمادة لاحمة. وتتدرج الصخور الرملية الخشنة تبعاً لازدياد أحجام حبيباتها إلى صخور الجمعات، كما أن الصخور الرملية الدقيقة الحبيبات تتدرج بحسب حجم حبيباتها إلى الصخور الطينية. والحد الأدنى لتمييز الصخر الرملي هو الحد الذي عنده لا تستطيع العين المجردة رؤية الحبيبات.

وتتركب معظم الصخور الرملية من حبيبات الكوارتز أو من مواد أخرى لا يسهل التأثير فيها بواسطة عوامل التعرية. وقد تختلط في تركيبها مع الكوارتز معادن أخرى كحبيبات الفلسبار والميكا والجلوكونيت Glauconite والكربونات. وحينما يسود وجود معدن من هذه المعادن الأخيرة فإن الصخر يسمى باسمه، مثال ذلك يسمى الرمل بالرمل الجلاوكونيتي أو الأخضر حينما يكثر فيه وجود الجلوكونيت.

ويعتبر الصخر الرملي من الصخور الصلبة، ويقاوم تأثير عوامل التعرية لو كانت المادة اللاحمة وفيرة، وكانت من نوع يتحمل عوامل التعرية أيضاً. وإذا بقي قسم من المسام أو الفراغات البينية شاغراً غير مملوء بالمواد اللاحمة، فإن الصخر الرملي يبدو مسامياً. ومن الممكن أن تتنوع المواد اللاحمة كما في صخور الجمعات.

وتنشأ أكثر الصخور الرملية صلابة وأعظمها تحملاً حينما تكون المادة اللاحمة هي السيليكات، مثل هذا الصخر مرغوب فيه للبناء، وحينما يكسر الصخر الرملي، فإن الكسر يتم حول الحبيبات، وليس خلال الحبيبات

نفسها، لأن حبيبات الرمل عادة ما تكون أصلب من المادة اللاحمة. وقد يسمى الصخر الرملي باسم المادة اللاحمة فيقال صخر رملي حديدي إذا كانت المادة اللاحمة هي أكاسيد الحديد، أو صخر رملي سيليكي إذا كانت المادة اللاحمة هي السيلكا، أو صخر رملي جيري إذا كانت كربونات الكالسيوم هي المادة اللاحمة. ويمكن تمييز الصخور الرملية عن بعضها بنفس الطرق التي تستخدم في تمييز صخور المجمعات.

صخر الأركوس Arkose:

وهو صخر رملي يحتوي على كمية وفيرة من معدن الفلسبار تزيد عن ٢٥٪. ويمكن التعرف على الفلسبار في هذا الصخر بسطوحه التي تعكس وميض الضوء حينما تدار العينة من جانب لآخر حين فحصها. وحينما يحتوي صخر الأركوس على حبيبات كبيرة من الفلسبار خصوصاً الارتوكلاس فإنه يشبه إلى حد كبير صخر الجرانيت. وفي هذه الحالة يمكن تمييز الأركوس عن الجرانيت بواسطة معدن الكوارتز الذي تبدو حبيباته في صخر الأركوس بشكل غير منتظم ذي زوايا حادة، بينما نجد تلك الحبيبات منتظمة إلى حد كبير حول حبيبات الفلسبار في صخر الجرانيت. هذا وتحتوي صخور الأركوس على بقايا حفريات نباتية وحيوانية وهذه ينعدم وجودها في الجرانيت.

٣ - صخور رسوبية دقيقة الحبيبات Fine-fragmental or Powder rocks:

وتتركب من حبيبات يتراوح قطرها بين ٠,٠١ - ٠,٠٥ مم.

وتعتبر تكوينات اللوس Loess واللوم Loam خير مثال لهذه الصخور:

اللوس Loess :

ويتركب من حبيبات يتراوح قطرها بين ٠,٠١ - ٠,٠٥ مم من معادن الكوارتز والفلسبار مع خليط من ذرات الصلصال وكربونات الكالسيوم. وهوَ أصفر فاتح أو بني فاتح أو رصاصي. وتوجد كربونات الكالسيوم فيه إما في شكل حبيبات صغيرة مستديرة (عقد جيرية) أو في هيئة مسحوق أو في شكل أغشية تحيط بحبيبات المعادن المكونة لصخر اللوس.

ويمكن التعرف على كربونات الكلسيوم في هذا الصخر عن طريق معاملته بحامض الأيدروكلوريك. ويتميز اللوس بمسامية كبيرة تتراوح بين ٤٩ - ٥٠٪، وهو يتشرب المياه بسهولة. وتميل تكوينات اللوس إلى تكوين حوائط وجروف رأسية على طول الأجزاء المنخفضة دون أن تنهار. ويتفق معظم الباحثين على أن تكوينات اللوس هوائية النشأة، ولكن بعض الباحثين الروس يعتقدون أنه متباين الأصل والنشأة، فهو في رأيهم قد ينشأ نتيجة لفعل الرياح ولفعل المياه الجارية كما قد ينشأ محلياً نتيجة لتجوية التربة.

اللوم اللوسي Loess-like Loam :

يختلف هذا الصخر عن اللوس باحتوائه على نسبة كبيرة من الذرات الدقيقة إلى جانب حبيبات اللوس العادية. وقد تحتوي هذه الصخور على نسبة قليلة أو كبيرة من كربونات الكالسيوم وقد ينعدم وجودها فيها تماماً. وكثيراً ما يكون اللوم مسامياً ويتشرب المياه بسرعة. وهو بني اللون وأحياناً بني داكن نتيجة لاحتوائه على أكاسيد حديدية. وحينما يحتوي اللوم على كمية من الرمال يسمى باللوم الرملي Sandy Loam .

٤- صخور رسوبية مجهرية الذرات:
Micro Fragmental (Argillaceous, Pelitio) rocks

وتتركب هذه الصخور من ذرات يقل قطرها عن ٠,١ مم وأهم أنواعها ما يأتي:

صخر الغرين أو الطمي **Siltstone**:

وهو عبارة عن غرين أو طمي تحول إلى صخر بفعل ضغط التكوينات على بعضها وفقدانها لما تحتويه من مياه، وحجم ذراته وسط بين اللوم وصخر الطفل.

صخر الطفل أو الشيل **Shale**:

يعتبر اللون الرمادي بدرجاته هو اللون السائد في صحور الطفل، وقد يتخذ ألواناً أخرى- لوجود مكونات ملونة فيه- كاللون الأحمر أو الأحمر الوردي بدرجاته أو اللون الأسود (لوجود مواد عضوية متفحمة فيه) أو البني الأصفر أو الأخضر.

وينشأ صخر الشيل من اندماج تكوينات يقرب حجم ذراتها من حجم ذرات الصلصال. وهو دقيق الحبيبات بحيث يبدو متجانساً للعين المجردة. كما أنه لين يمكن خدشه بسهولة.

وهناك أنواع من الشيل أكثر منه صلابة تسمى الأرجيليت **Argillite**.

وصخر الطفل المثالي يبدو ناعماً دهني الملمس، ويصبح خشن الملمس

بعض الشيء إذا احتوى ولو على نسبة صغيرة من الرمل. وهناك تدرجات عديدة بين الطفل والصلصال، ولكن الشيل بعكس الصلصال لا يكون لزجاً حين يمزج بالماء.

الصخر الطيني أو الصلصال **Mud or Clay rock**:

وينشأ من تراكم رواسب ميكانيكية دقيقة تحتوي على نسبة من الدقائق الناشئة من تحلل الصخور كيماوياً، وحين يتركب الصلصال أساساً من معدن الكاولينيت يسمى كاولين Kaolin الذي يبدو بلون أبيض حين يخلو من الشوائب. ويصبح لون الصلصال أخضر رمادي إذا تركب أساساً من معدن، مونتموريلونيت Montmorillonite ويبدو الصلصال أرضياً إذا كان جافاً ويمكن سحقه بسهولة، أما إذا كان رطباً فإنه يصبح مرناً قابلاً للتشكيل، ويحتفظ بشكله حينما يجف. ومخدشه مشرق لامع.

وهناك نوع من الصلصال يخلو من الجير والقلويات وينصهر في درجة حرارة عالية تبلغ نحو ١٧٠٠°م، ومثله يسمى **بالصلصال المقاوم للحرارة Refractory**.

ويسمى الصلصال الذي يحتوي على نسبة كبيرة من كربونات الكالسيوم باسمَ **المارل الطيني Clay-Marl**.

الصخور الرسوبية الكيماوية والعضوية

تنشأ الصخور الرسوبية الكيماوية والعضوية أساساً في الأحواض المائية. وفي بعض الحالات يصعب تمييز الصخر وإتباعه لأي من المجموعتين. ويمكن تمييز الصخور الكيماوية عن طريق حجم البلورات التي تدخل في تركيبها

المعدني، فمنها ما هو حش الحبيبات أو متوسط الحبيبات، ومنها ما هو دقيق حجم الحبيبات. أما الصخور العضوية فيمكن تعيينها عن طريق ما تحتويه من عضويات ومحاولة نسبتها إلى كائن عضوي معين.

وتصنف الصخور الرسوبية العضوية والكيماوية عادة بحسب تركيبها الكيماوي.

الصخور الكربونية Carbonaceous Rocks

الحجر الجيري Limestone:

يشيع وجود الحجر الجيري الذي يتركب من الكالسيت، ولهذا فإن كل المميزات التي يتصف بها الكالسيت يمكن استخدامها لتعيين الحجر الجيري. واللون الرمادي هو اللون السائد في الصخور الجيرية، ولكن من الممكن أن تتخذ لها ألواناً أخرى بحسب ما يوجد فيها من شوائب ملونة. وتبدو الصخور الجيرية التي تحتوي على مواد كربونية من بقايا الحيوانات والنباتات داكنة اللون أو سوداء.

ويتدرج الحجر الجيري بين أنواع منه دقيقة الحبيبات لا ترى بالعين المجردة إلى أنواع تبدو حبيباتها واضحة وكبيرة. وتنشأ الأنواع ذات الحبيبات البالغة الدقة من إرساب كيماوي لكربونات الكالسيوم أو عن طريق ترسيب أصداف لكائنات مجهريه الحجم، أو عن خليط من الاثنين معاً. ومن الممكن في كثير من الصخور الجيرية الكبيرة الحبيبات أن ترى حطام أصداف الكائنات العضوية. وحينما يسود وجود الأصداف في الصخر، ويكون التحامها ببعض غير كامل يسمى الصخر حينئذ باسم

كوكوينا **Coquina** أو الحجر الجيري الصدفي. وتسمى الصخور الجيرية العضوية بأسماء العضويات التي تسودها، ومن ثم نجد الكثير من الأسماء مثل الصخر الجـيري المرجـاني **Coral** والحجر الجـيري البراكيوبودي **brachiopod**، وصخر الطباشير **Chalk** ما هو إلا نوع خاص من الصخور الجيرية العضوية. وهو حجر مفكك لأن التحامه ضعيف، وحبيباته بالغة الدقة، ولونه أبيض، وهو يتركب من هياكل وأصداف الفورامينيفرا Foraminifera

هذا ويمكن تمييز الأنواع الآتية من الصخور الجيرية الكيماوية:

١ - **صخر جيري كتلي مندمج** **Massive or Compact** ويتركب من بلورات دقيقة جداً، لا يمكن تمييز مظهرها إلا بواسطة المجهر.

٢ - **صخر جيري حبيبي** **Oolitic** ويتركب من حبيبات كروية رفيعة مظهرها محاري أو إشعاعي، وتلتحم ببعضها بواسطة مادة جيرية لاحمة

٣ - **توفا أو ترافرتين** **Tufa or Travertine**: وهي عبارة عن أحجار عظيمة المسامية تتركب من بلورات مجهرية من الكالسيت، ويتكون هذا الصخر حيث تنساب المياه الباطنية على سطح الأرض، فترسب ما بها من كربونات كلسيوم مكونة لهذا الحجر المسامي.

٤ - **ستالاكتيت وستالاجميت** **Stalactite and Stalagmite**:

وتكوينها يرتبط بالمياه الباطنية، وهي عبارة عن أعمدة تتدلى من سقوف الكهوف والمغارات. وترتفع فوق أرضها، وتنشأ من ترسيب كربونات

الكلسيوم الذي تحتويه المياه الباطنية مذاباً فيها، ومكسرها عادة خشن الحبيبات

مارل Marl:

وهو صخر يتركب من الكالسيت وذرات من الصلصال تتراوح نسبتها بين ٣٠ - ٥٠٪. وهو يشبه الصخر الجيري ظاهرياً. وأهم ما يميزه أنه حين يعامل بحامض الأيدرو كلوريك يتفاعل ويترك بقعة فوق سطحه. وتكوين هذه البقعة ما هو إلا نتيجة لتركيز ذرات الصلصال في المكان الذي حدث فيه التفاعل.

دولوميت **Dolomite**:

وهو صخر يتركب أساساً من المعدن المسمى بنفس الاسم. وهو يشبه الصخر الجيري إلى حد كبير، ولكنه أصلب منه نوعاً، كما أنه ضعيف التفاعل مع حامض الأيدرو كلوريك. وتتسم بعض صخور الدولوميت بذراتها البالغة الدقة، وبعضها الآخر بحبيبات كبيرة نوعاً. وهو يتكون إما نتيجة للترسيب من محاليل مائية، أو نتيجة لإحلال المغنسيوم مكان قسم من الكلسيوم في الصخور الجيرية.

الصخور السيليكية

من الممكن أن تنشأ هذه الصخور أيضاً كيماوياً وعضوياً. ومن بين الصخور السيليكية العضوية نذكر صخر الدياتوميت Diatomite، وهو صخر خفيف أبيض اللون أو أصفر فاتح، يمكن سحقه بسهولة إلى دقيق ناعم وإضافته للتربة، ويتركب من الهياكل الأوبالية للدياتومات Diatoms.

ولا يختلف هذا الصخر في مظهره عن صخر آخر مشابه له يسمى تريبوليت Tripolite الذي يتركب من حبيبات أوبالية صغيرة مع خليط من أصداف الدياتومات وبقايا الحيوانات البحرية المعروفة باسم راديولاريا Radiolarians، ويتميز التريبوليت بوزنه النوعي المخفض.

أما صخر أوبوكا Opoka فهو صخر صلب أبيض اللون أو رمادي، ومكسره محاري، وحين يكسر يحدث صوتاً رناناً خاصاً به. وهو أثقل وزناً بعض الشيء من صخر التريبوليت. وهو يتركب أيضاً من حبيبات معدن أوبال ومن بقايا الهياكل السيليكية لمختلف الكائنات العضوية التحمت مع بعضها بمادة لاحمة سيليكية.

اما صخر جيزيريت أو السينتر السيليكي Geyserite or Siliceous Sinter:

فهو صخر خفيف متعدد الألوان، يتكون حول الينابيع الحارة التي تتميز مياهها بتشبعها بالسيليكات.

الصخور الحديدية

وتتركب هذه الصخور من الأكاسيد الحديدية التي تكونت فوق سطح الأرض في البحيرات والمستنقعات والمروج، وتعرف هذه الرواسب بالتوفا الحديدية Ferruginous Tuff، وهي رواسب واسعة الانتشار، وتكون طبقات من خام الحديد الذي يعرف بالحديد البحيري Lacustrine وحديد المستنقعات Bog ore وحديد المروج Meadow.

الصخور الملحية والكبريتية

وهي صخور دات منشأ كيماوي. وأكثر الصخور الملحية شيوعاً هو الملح الصخري Rock salt ، الذي يتكون من بلورات فاتحة اللون من معدن الهاليت. ويتوقف لون هدا الصخر على الشوائب التي توجد فيه، وهي عادة شوائب من أصل ميكانيكي. وكثيراً ما يتعاقب وجود الملح الصخري مع الأملاح الكبريتية كالأنهيدريت Anhydrite في طبقات متتالية.

أما الجبس Gypsum فهو صخر واسع الانتشار، ويتركب من كبريتات الكلسيوم، وقد يكون خشن الحبيبات أو دقيق الحبيبات أو قد يوجد في هيئة ليفية. وهو عادة أبيض اللون وأحياناً أحمر وردي أو أزرق.

صخور البوكسيت

وهو صخر يتركب أساساً من أيدروكسيد الألومنيوم. ولونه عادة أصفر فاتح أو بني محمر أو أحمر، وهو صخر حبيبي، عظيم الأهمية باعتباره خاماً للألومنيوم.

صخور عضوية نباتية

Caustobioliths or Combustible Rocks

وهي صخور من أصل عضوي، وتتركب من مكونات عضوية، ومعظم هذه الصخور له أهمية اقتصادية كبيرة

وأكثر هذه الصحور انتشاراً هي الرسوبيات الكربونيه أو الفحميه التي تمثل عدة درجات من احتزال أو تفحم البقايا النباتيه

بيت Peat

عبارة عن صخور أو رسوبيات مفككة صفراء أو بنية أو سوداء ، تتركب من بقايا نباتية ما تزال واضحة يمكن رؤيتها وهو يتكون أثناء المراحل الأولى من عملية التفحم في مياه تفتقر إلى معين من الأوكسيجين، وهو أقل الرسوبيات الفحمية احتواء للكربون (٥٢- ٦٢٪) وهو يستخدم كمادة للوقود

الفحم البني أو الليجنايت Brown coal or Lignite

وهو صخر ينشأ عن احتزال النباتات في بيئة ينعدم فيها وجود الهواء ، فيؤدي هذا إلى تراكم ما يقرب من ٧٠٪ من الكربون ، وهو عبارة عن كتل مندمجة بنية مسودة أو سوداء . وبريقه عادي مطفي ، ومخدشه بني داكن ، وهو يمثل المرحلة الثانية من عملية التفحم

الفحم البيتوميني أو القطراني Bitominous coal :

ويحتوي على كمية من الكربون تصل إلى ٨٢٪ . وهو صخر أسود اللون أكثر اندماجاً من الليجنايت، ومكسره محاري أرصي. ويترك أثراً في اليد ، وبريقه مطفي ، ومخدشه أسود ، ويستخدم كوقود

فحم الانتراسيت Anthracite :

ويتكون نتيجة لعمليات تحول تحدث في أنواع الفحم الأخرى تحت تأثير

صغط وحرارة عالبه . ويحوي على نسبه من الكربون تصل إلى ٩٥٪ . وهو صخر صلب . لونه أسود رمادي، وبريقه تحت فلزي ومكسره محاري غير مستوي، وهو صخر مندمج لا يترك أثراً في اليد . وهو يستخدم في الصناعة لأنه حين يحترق يولد حرارة عالية.

صخر الطفل العضوي **Combustible Shale**:

وهو صخر يتولد من خليط من المواد العضوية أو الرواسب القارية الطينية . وهو ينشأ في قيعان الأحواض المائية نتيجة لترسيب ذرات الصلصال مع مواد عضوية دقيقة . وهو صخر صفائحي النظام إذ نجده مرتباً في شكل رقائق رقيقة جداً، ولون الصخر رمادي داكن أو بني، وتنبعث منه رائحة قطرانية حينما يحترق.

الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

الصخر المتحول هو صخر سابق قديم كان موجوداً ثم تغير تركيبه المعدني والكيماوي ونسيجه ومظهره الخارجي. ويحدث هذا التغيير نتيجة لتأثير عمليات تحدث في جوف الغلاف الصخري تسمى بعمليات التحول Metamorphism التي تحدث نتيجة لتغيرات في البيئة الجيولوجية التي يوجد فيها أو يتعرض لها الصخر القديم، كأن يعاني من ضغط شديد أو حرارة مرتفعة أو من كليهما معاً. وتحدث عمليات التحول حينما تلتوى الجبال أثناء الضغوط العنيفة أو التقلص الكثيف الذي تعانيه الصخور عند حدوث

تهبط الجبال فتصل جذورها إلى حيث تشتد الحرارة، أو حينما تلامس الصخور كتلاً من الصهير.

وقد يحتفظ الصخر المتحول ببعض آثار صفات الصحر الأصلي الذي اشتق منه، ولكن عادة ما نجد أن التغير كان من الشدة بحيث قد تلاشت في الصخر المتحول كل المميزات التي كان يتصف بها الصخر القديم.

وتتميز الصخور المتحولة بمظهر كامل التبلور. أما نسيجها فقد يكون ورقياً Foliated (عن اللاتينية Folium ومعناها ورقة شجر) أو حزمياً أو ليفياً. وتبدو المعادن في معظم هذه الصخور مرتبة في وصع متوازي، فإذا كانت المعادن في شكل رقائق متوارية أصبح انفصام الصخر واضحاً في اتجاه وضع تلك الرقائق. وتعرف مجموعة الصخور التي تتصف بهذه الخاصية وهي خاصية التقشر أو التورق بالصخور الورقية أو الصفائحية Foliates. والمعادن التي تمنح الصخر هذه الخاصية هي الميكا (بابوتيت وموسكوفيت) والكلوريت.

والصخور المتحولة شائعة الوجود عديدة الأنواع. وسنكتفي هنا بدراسة أبسط أنواعها وأكثرها شيوعاً.

صخور النيس Gneisses:

تتركب هذه الصخور من معدن الكوارتز والفلسبار والميكا والهورنبلند، ومظهرها حبيبي كامل البلورات، ونسيجها شستوزي (ورقي أو صفائحي) أو حزمي. ويبدو كثير من صخور النيس في شكل طباقي أو ما يشبهه نتيجة لتعاقب وجود ما يشبه الطبقات من معادن متباينة التركيب. فنجد مثلاً طبقات بيضاء من الكوارتز والفلسبار تتعاقب مع طبقات أو شرائح من

الميكا السوداء. وتنكسر صخور النيس في الاتجاه الذي يحدده وضع صفائح الميكا.

وأكثر أنواع صخور النيس شيوعا هو صخر ميكا- نيس **Mica gneiss** - وهو يحتوي على كمية وفيرة من الميكا السوداء، كما يحتوي أيضاً على ميكا بيضاء في العادة.

وحينما يحتوي النيس على نسبة وفيرة من معدن الهورنبلند يسمى هورنبلند- نيس **Hornblende-Gneiss,** ويبدو هذا المعدن فيه في شكل منشورات تبدو متوازية بعض الشيء.

وهناك أيضا ما يعرف بصخر جرانيت- نيس **Granite - gneiss** وهو صخر جرانيتي ضغطت والتحمت به شرائح من معادن مختلفة. وحينما ينشأ صخر النيس عن تحول الصخور النارية يدعى أورتو نيس **Orthogneiss**، وحينما ينشأ عن تحول الصخور الرسوبية يدعى بارانيس **Paragneiss**

صخور الشست **Schist**:

مظهرها الخارجي كامل التبلور، ونسيجها صفائحي أو ورقي أو شستوزي نسبة إليها، وتنفصم لهذا إلى شرائح رقيقة.

وتبدو المعادن في هذه الصخور واضحة بيِّنة بدرجة تكفي لتمييزها بالعين المجردة، وهي صفة تميزها عن الرقائق الدقيقة الذرات التي لا ترى عادة بالعين والتي تكون صخر الفليت **Phyllite**.

وحينما يحتوي الشست على معادن الميكا يدعى ميكا- شست **Mica-Schist** ومظهره كامل التبلور ونسيجه ورقي، ويتركب من الميكا والكوارتز، ويمكن تمييزه عن صخر النيس بعدم احتوائه على معدن

الفلسبار. وحينا يشيع في الشست وجود البايوتيت يسمى **بايوتيت- شست**، ويسمى **موسكوفيت- شست** حينا يوجد فيه معدن المسكوفيت بوفرة.

ومن الصخور الشستية الكاملة التبلور أيضاً ما يعرف **بالكلوريت- شست Chlorite – Schist** ويتركب من خليط من حبيبات الكلوريت الصفائحية ومعدن الكوارتز. كما يحتوي على معادن أخرى ثانوية كالتالك والميكا والفلسبار والماجنيتيت.

وهنـــاك أيضـــا مـــا يسمـــى بالتالـــك- شست، وهو يتركـب أساسا من معدن التالك، وملمسه دهني، ولا يحترق إلا في درجة حرارة عالية. وهو يستخدم كمادة للتشحيم ولصناعة الطوب الحراري.

وتبدو صخور الشست وكأنها تتكون فقط من المعادن التي تعطيها صفة الورقية، ولكنها كما رأينا تحتوي عادة على معادن أخرى أهمها الكوارتز، وتستبين تلك المعادن حينا نكسر الصخر في إتجاه عمودي على إتجاه الورقية. ونجد في كثير من صخور الشست بلورات كاملة مبعثرة فيه- ومثلها بلورات العقيق الأحمر Garnet خاصة في صخر الميكا- شست (شكل ٣٦). وبلورات معدن ستوروليت Staurolite وهي بنية اللون حمراء تبدو في شكل صليب.



شكل (٣٦): بلورات عقيق في صخر ميكا- شست.

صخر فيليت Phyllite :

ومظهره متوسط بين الشست والاردواز Slate، وحبيباته أدق من حبيبات الشست لا ترى عادة بالعين المجردة، ويمكن تمييزه عن صخر الإردواز ببريقه الحريري على سطح المكسر وعلى طول مستوى الانفصام. هذا وتحتوي صخور الفيليت على الميكا وعلى معدن العقيق. وتتدرج صخور الفليت نحو الشست بازدياد حجم حبيباتها، وإلى صخر الإردواز كلما استدق حجم الحبيبات.

صخر الاردواز Slate:

وحبيباته دقيقة جدا لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. ومعظم صخور الإردواز ذات لون أسود ضارب إلى الزرقة، وهو لون مثالي لها. ومع هذا فقد تتلون بألوان أخرى كاللون الأحمر أو الأخضر أو الرمادي أو الأسود. وينكسر هذا الصخر في شكل رقائق ملساء، وسطوح إنفصامه مصقولة. ويمكن تمييزه عن الشيل بأنه أكثر منه بريقا وصلابة، ويرن عند ضربه بخفة

صخر الشيل (أو الطفل) الصلصالي Clay Shales :

ويمثل المرحلة الأولى في عمليات التحول التي تصيب الصخور الرسوبية الميكانيكية الدقيقة الحبيبات. ولما كان مقدار التحول الذي أصابها طفيف فان كثيرا من العلماء يميلون إلى إعتبار صخر الشيل الصلصالي صخرا رسوبيا وعلى أي حال فإن هذا الصخر يختلف عن الصخر الرسوبي بنسيجه الشستوزي الواضح الذي ينكسر بموازاته الصخر بسهولة إلى رقائق

بريقها مطفي. ومظهره غير كامل التبلور وهو في هذا يختلف عن الصخور المتحولة الأخرى. ويبدو مظهره كصخر الصلصال. ويماثله أيضا في مكسره الأرضي وبريقه المطفي.

الصخور الرنانة Hornfels

وهي صخور متحولة قد نشأت أثناء عملية التحول الاحتكاكي من صخور طينية وصخور نارية قاعدية. وهي صخور صلبة مندمجة، لونها أبيض رمادي وأحيانا رمادي محمر، ومكسرها محاري وتتركب من معادن الكوارتز والأمفيبول وخليط من معادن البابوتيت والموسكوفيت والأباتيت ومعادن أخرى.

كوارتزيت Quartizite :

ويتركب كلية من حبيبات الكوارتز. ومظهره كامل التبلور، وعادة دقيق الحبيبات، ونسيجه مندمج ونادرا ما يكون ورقيا، ودرجة صلابته ٧. والأنواع النقية من هذا الصخر تبدو بلون أبيض أو رمادي فاتح، ولكن وجود شوائب فيه قد تغير هذا اللون فيصبح أحمر أو بني أو قرمزي. وينشأ الكوارتزيت من تحول الصخر الرملي والرمال الكوارتيزية، وقد تحتوي بعض عيناته على شوائب من معادن الفلسبار والميكا وأكاسيد الحديد.

جاسبر (حجم الدم) Jasper

صخر صلب متعدد الألوان منها اللون الأحمر، ويتركب من حبيبات

الكوارتز أو معدن الكالسيدوني، كما يحتوي على شوائب من الهياتيت والإبيدوت Epidot والكلوريت.

الرخام Marble:

وهو صخر جيري متحول مثالي، وهو مندمج اندماجاً تاما، ونادرا ما يتصف بالنسيج الورقي، وهو يتركب من حبيبات الكالسيت، ويحتوي على شوائب من معادن الكوارتز والهورنبلند، والبيروكسين والأوليفين وأحياناً من الفلسبار. وهذه الشوائب المعدنية هي التي تحدد ألوانه. وتستخدم العينات الملونة منه لزخرفة المباني

ويشبه الدولوميت المتبلور صخر الرخام إلى حد كبير، وهو يستخدم كالرخام في أغراض البناء.

التحول الصخري

Metamorphism

يقصد بعمليات التحول الصخري ذلك التغير الذي يحدث لمكونات الصخور الرسوبية وصخور الصهير بسبب تأثير العمليات الداخلية التي تحدث في جوف قشرة الأرض. والعوامل الأساسية التي تحدث التحول هي الحرارة الشديدة والضغط المباشر ثم عمليات تكثيف الغازات وترسيب المحاليل الحارة التي تنبعث من كتل الصهير، وينشأ عنها تكوين معادن جديدة، وهي العمليات التي يطلق عليها اسم Pneumatolysis. ويحدث التحول تغييراً في نسيج الصخر الأصلي وفي مظهره الخارجي، كما يحدث أيضا تغييرا في نسيجه المعدني.

وتتميز الصخور المتحوله- كما سبق أن أشرنا- بنسيجها الحبيبي الشستوزي الشبيه بالنسيج الطباقي أو بالنسيج الورقي Foliate ويعزي هذا الى إعادة التبلور تحت تأثير حرارة مرتفعة في الحالة الأولى وتحت تأثير الضغط الشديد في الحالة الثانية ففي أثناء الحركات المكونة للجبال تجد الصخور تلتوي وتنثني وتتمزق تحت تأثير الضغط المباشر العظيم، وينشأ عن هذا أن تنتظم البلورات الجديدة التكوين في شكل شرائط bands أو صفحات Laminae متوازية تتعامد على اتجاه الضغط. ويختلف هذا النسيج الورقي أو الشريطي عن النسيج الطباقي الذي تتصف به الصخور الرسوبية.

هذا ويمكن تقسيم عمليات التحول إلى نوعين رئيسيين:

تحول ديناميكي **Dynamic** (بسبب الضغط)، وتحول حراري **Thermal** (بسبب الحراة).

ويحدث التحول الديناميكي على سبيل المثال أثناء عمليات تكوين الجبال على أعماق تصل فيها درجات الحرارة بين ٢٠٠ - ٣٠٠° م على الأقل

أما التحول الحراري فيحدث عادة حيث تحتك الصخور الأصلية بمواد الصهير المتداخلة، ولهذا يطلق على التحول الحراري اسم آخر هو التحول الاحتكاكي Contact . وحيث يحدث التحول الحراري أو الاحتكاكي نجد أن كتل الصهير المتداخلة التي تستغرق وقتا طويلا حتى تبرد، تؤثر في الصخور الرسوبية المجاورة لها في كل الاتجاهات فتذيبها إذا كانت ملامسة لها مباشرة، إذ أن درجات الحرارة عند موضع التماس تصل إلى أكثر من ٨٠٠° م، ويقل التأثير تدريجيا كلما بعدت تلك الصخور عن موضع التماس. وقد يمتد التأثير فيشمل مساحات كبيرة. وينشأ عن ذلك تكوين معادن جديدة في منطقة التحول التي تسمى بحلقة أو هالة التحول Contact aureole

حد هالة التحول

شست عقدي

صخر رنان يحتوي على ميكا

ميكا - نيس مع جرانات

صخر رنان فلسباري مع أندالوزيت وبايوتيت

عمليات تحول بنوما توليتية

في الرخام

مخزن معدني

سكارن

صخور سيليكية

رخام

رخام يحتوي على

معادن مغنيسية

صخور جيرية

سيليكية (جرانات

فيزوفيان - ديوبسيد

صخور تحتوي على

الهورنبلند والأوجيت

والبلاجيوكلاس وجرانات

كوارتزيت

صخور جيرية سيليكية

إبيدوت هورنبلند

صخور رنانة - صخور جيرية

سيليكية - أمفيبوليت

جارنيت شست

كوارتزيت

قرن صهير جرانيتي

صخور طينية

صخور جيرية

دولوميت

صخور جيرية رملية

مارل

صخور رملية

شكل (٣٧) صورة تخطيطية لعمليات التحول الاحتكاكي.

وتتركب هذه المعادن الجديدة من خليط من معادن كتل الصهير المتداخلة ومن مواد الصحور الرسوبية التي أصابها الإنصهار. ويتوقف عدد وتركيب هذه المعادن الجديدة على التركيب المعدني لكتل الصهير، وعلى طبيعة وتركيب طبقات الصخور الرسوبية التي غزتها المصهورات النارية.

فاذا حدث ولامست كتل من الصهير الجرانيتي صخوراً رسوبية رملية تتركب من الرمل الكوارتزي، فإننا نجد أن تكوين معادن جديدة يصبح أمراً نادر الحدوث. ولكن إذا حدث أن غزت كتل الصهير الجرانيتي مجموعة من طبقات الصخور الجيرية، فإن المعادن الجديدة التي تتكون في حلقة التحول تبدو غريبة وجديدة في تركيبها بالنسبة لتركيب الصهير من جهة ولتركيب الصخر الجيري من جهة أخرى. وتظهر سلسلة من النطاقات الصخرية الإنتقالية بين كتلة الصهير الجرانيتي كلما زاد عدد الصخور القاعدية التي تتمثل فيها. وحيث لا يختلط الصخر الجيري بكتل الصهير الجرانيتي يتحول- إذ يعاد تبلوره- ويصبح رخاما. وفي مرتفعات الأورال حيث حدث إحتكاك حراري بين صهير الجرانيت والأوليفين، فقد تحول الأخير إلى تلك Talc غني بالمياه، وإلى كلوريت- شست.

وحينما تتحرك الغازات والأبخرة والمحاليل المائية خلال الفوالق والكسور في الأجزاء الأقل حرارة من الغلاف الصخري، فتتشبع بها مساحات كبيرة من الصخور، فإنها تصيب تلك الصخور بدورة من عمليات التحول يطلق عليها التحول البنوماتوليتي Pneumatolitic إذا كانت العوامل المؤثرة تقتصر على الغازات الحارة والأبخرة الساخنة دون مشاركة المياه، أو يطلق عليها التحول الحراري المائي Hydrothermal إذا اشتركت المياه المعدنية الساخنة في عمليات التحول.

ويتدخل عامل الحرارة أيضاً في عملية التحول إذا حدث أن أصبحت مجموعة من الطبقات الرسوبية في وضع عميق من الغلاف الصخري. كأن

تتراكم عليها كميات كبيرة من الرواسب الحديثة فتهبط تحت ثقلها، أو كنتيجة للحركات والقوى التكتونية. وفي مثل هذه الحالة لا نجد احتكاكا أو تماسا بين صخور رسوبية باردة وكتل من الصهير الحار المتداخل، إذ أن الأمر في هذه الحالة يختص بمجموعة من الصخور الرسوبية التي قد تغطي مساحات شاسعة والتي تهبط بانتظام إلى نطاق من قشرة الأرض حيث تشتد الحرارة وتعظم، وحينئذ تتحول هذه الطبقات الرسوبية إلى حالة ليونة أو قد تتحول إلى حالة منصهرة. وهنا تظهر عملية تسمى بالتحول الإقليمي Regional Metamorphism.

وعلى الرغم من أن الضغط الهيدروستاتي لا يكون كبيراً قرب سطح الأرض إلا أنه يصبح عظيما على الأعماق بين ١٠ كم- ٢٥ كم. ولما كانت وحدة الضغط الجوي تعادل ضغط عمود من الصخر طوله ٥ أمتار ومساحة قاعدته واحد سنتيمتر مربع، فإن مقدار الضغط على عمق ٥٠٠٠ متر من سطح الأرض ينبغي أن يصل إلى ١٠٠٠ وحدة من الضغط الجوي، وعلى عمق ٢٥٠٠٠ متر قد يصبح مقداره ٥٠٠٠ وحدة ضغط جوي. ويصبح هذا الضغط العظيم ذا تأثير بين في الصخور- مع وجود حرارة تصل درجاتها إلى نحو ١٥٠٠ م° عند ذلك العمق- فيحولها إلى حالة لينة. ويترتب على هذا أن تتحرك الصخور وتستبدل مواضعها، فينشأ عن ذلك أن يسحق الصخر بعضه بعضا، فيصير إلى ذرات رقيقة تنتظم في ترتيب خاص يسمى بالنسيج الشيستوزي، إذ ترتب المكونات المعدنية في الصخر في صفوف أو صفائح متوازية.

هذا ويمكن تقسيم إقليم التحول الصخري الذي يرتبط بهبوط المجموعات الرسوبية في باطن قشرة الأرض إلى ثلاثة نطاقات، وذلك بناء على حقيقة أن تأثير الضغط والحرارة يقل قرب سطح الأرض، ويزداد بالعمق في جوف قشرة الأرض.

١ - النطاق العلوي او نطاق الإبي Epi zone وهو نطاق لتحول الصخري السطحي الطفيف. وفيه نجد أن الضغط والحراره منخفضان نسبياً. وتتميز الصخور المتحولة التي تتكون فيه بالنسيج التيسنوري الواضح، وتنتظم المعادن في الصخور في شكل ورقات أو صفائح رقيقة.

٢ - النطاق الأوسط Meso- Zone، وفيه يزداد الضغط وتشتد الحرارة عن ذي قبل، فتتهيأ الظروف المناسبة لإعادة تبلور الصخور الرسوبية، وفيه تظهر اضطرابات ميكانيكية تبدو في شكل كسور وعيوب. وتنشأ هنا صخور الميكا- شست. والأمفيبول- شست التي تحتوي على معادن الفلسبار، كما تتكون صخور النيس التي تحتوي على معدن الهورنبلند.

٣- النطاق العميق Kata or Hypo-zone، وفيه ترتفع درجة الحرارة ارتفاعا عظيما، كما يصبح الضغط بالغ الشدة. وفي هذا النطاق تعاني الصخور تحولا كاملا، فيعاد تبلورها من جديد، وفيه يسود وجود معدن الأوجيت والأوليفين بين المعادن الجديدة التبلور.

وإذا حدث أن عرت كتل من الصهير مجموعة الصخور الرسوبية الهابطة. فان هذا التتابع في عمليات التحول المشار اليه يضطرب. ففي هذه الحالة يضاف إلى تأثير عامل الضغط ظاهرات أخرى تنشأ عن التحول الاحتكاكي.

هذا ويطلق تعبير التحول الموضعي أو التحول نتيجة لتغير الأوضاع Dislocation Metamorphism على عمليات التحول الديناميكي التي تنشأ أثناء عمليات بناء الجبال. وهنا نجد أن التحول الذي يصيب الصخور لا يكون عظيما، والعامل المؤثر هو الضغط الشديد غير المصحوب بحرارة مرتفعة.

الفصل الثالث

القوى التي تؤثر في تشكيل سطح الأرض

تنشأ أشكال سطح الأرض نتيجة لمجموعتين من القوى تتقابل تأثيراتها عند قشرتها. وتأتي إحداهما من خارج قشرة الأرض وتسمى بمجموعة القوى الخارجية Exogenetic Forces (عوامل التعرية)، وإليها يرجع الفضل في تشكيل قسم عظيم من سطح الأرض. وتأتي الثانية من جوف الأرض وتسمى بمجموعة القوى الداخلية Endogenetic Forces ، وهي التي تعمل أساساً على إنشاء البناء الداخلي وتركيب تضاريس قشرة الأرض. وعلى الرغم من إمكانية تقسيم هذه القوى على النحو السالف الذكر، ينبغي لنا أن لا ننسى أن هده القوى تتعاون وترتبط ببعضها ارتباطاً وثيقاً، وتتبادل التأثير بحيث يصعب علينا أن نتفهم ظاهرات سطح الأرض إذا ما حاولنا الفصل بين تأثيرات كل منها.

القوى الداخلية

تتعرض قشرة الأرض لقوى داخلية أو حركات تكتونية Tectonic تؤثر في تشكيل سطحها. فقشرة الأرض في الواقع غير ثابتة ولا مستقرة. فطبقات الصخور الرسوبية التي أرسبت في الأصل على الكتل القارية

القديمة أو في الأحواض البحريه قد تعرضت للالتواء والانكسار، فتغير نظامها الأفقي المنتظم الذي أرسبت به في الأصل

وعدا ما تصاب به قشرة الأرض من حركات الالتواء والانكسار، تعاني أيضاً من قوى فجائية تتمثل في الزلازل والبراكين.

لهذا يمكن تقسيم القوى الداخلية التي تصيب قشرة الأرض وتؤثر في تشكيل سطحها إلى نوعين رئيسين:

١ - قوى سريعة أو فجائية وتتمثل في الزلازل والبراكين.

٢ - قوى بطيئة تنشأ خلال ملايين من السنين، وتظهر آثارها بعد مضي فترات طويلة من الزمن.

القوى الداخلية السريعة

الزلازل

عبارة عن هزات أرضية تصيب قشرة الأرض، وتنتشر في شكل موجات خلال مساحات شاسعة منها. وتعاني قشرة الأرض دائماً من الحركات الموجية نظراً لعدم استقرار باطنها، إلا أن مثل هذه الهزات المستديمة تكون عادة من الضعف بحيث لا نشعر بها. ودراسة الزلازل لا شك مهمة لأنها تتصل اتصالاً مباشراً بحياة الإنسان ونشاطه على وجه الأرض. فقد سجل الكثير من الزلازل المدمرة أثناء العصر التاريخي وذكر منها الآلاف وقد أثبتت الدراسات الجيولوجية أن قشرة الأرض كانت تعاني دائماً خلال عمر الأرض الطويل من الهزات الزلزالية. وتشير تلك الدراسات أيضاً إلى

استمرار حدوثها في المستقبل. ويعني بدراسة الزلازل علم مستقل بذاته يسمى علم الزلازل Seismology، وهي كلمة مأخوذة من الكلمة اليونانية Seismos ومعناها زلزال.

منشأ الزلازل

هناك عدة أنواع من الزلازل بحسب القوى التي تسببها:

١ - زلزل بركانية **Volcanic Earthquakes** :

ويرتبط حدوثها بالنشاط البركاني. ففي شبه جزيرة كمتشاتكا Kamchatka في شمال شرقي آسيا كثيراً ما يسبق انفجار البراكين أو يصحبها هزات عنيفة مدمرة. وقد صحب ثوران بركان « مونالوا » Mauna Loa وبركان « كيلويا » Kilauea في جزر « هاواي » Hawai زلازل غاية في العنف والقوة، وحينما ثار بركان كراكاتاو Krakatau الواقع في خليج « سوندا » Sunda بين جزيرتي سومطره وجاوه في عام ١٨٨٣ أحدث الكثير من التدمير والتخريب، فقد أدى الانفجار إلى إحداث هزات عنيفة أثارت مياه البحر في شكل أمواج ضخمة عارمة، أغارت على السهول الواقعة في الجزر القريبة منها فأغرقتها، ودمرت المنازل وشردت العديد من السكان وأحدثت خسائر فادحة لسكان جزيرتي سومطره وجاوه والجزر الأخرى المجاورة.

ومع هذا فإن معظم الهزات الزلزالية التي تحدث بسبب النشاط البركاني هي في الواقع هزات محلية لا تؤثر في مساحات كبيرة، كما أن كثيراً من الثورانات البركانية لا تصحبها هزات زلزالية، أو قد تصحبها هزات

ضعيفة، كالتي صحبت انفجار «مونت بيلي Mont Pelee المدمر في عام ١٩٠٢ في جزيرة المرتنيك Martinique (من جزر الهند الغربية). وقد كان يعتقد أن النشاط البركاني مصدر هام للهزات الزلزالية، ولكن الدراسات الدقيقة التي أجريت في اليابان على الخصوص قد أثبتت أنه ليس هناك ارتباط حتمي بين النشاط البركاني والزلازل العنيفة.

٢ - زلزل تكتونية Tectonic Earthquakes :

وتحدث في المناطق التي تصيبها الانكسارات والعيوب، وتتعرض للتصدع، وهذا النوع شائع كثير الحدوث. وهو يتركز على الخصوص في القشرة السيالية Sialic Shell على أعماق تصل إلى ٧٠ كم.

٣ - زلزل بلوتونية Plutonic Earthquakes :

ويوجد مركزها على عمق سحيق من الأرض، فقد سجلت زلازل على عمق ٨٠٠ كم في نطاق بحر أخوتسك Okhotsk في شرقي آسيا.

ويحدث النوعان الأخيران من الزلازل- التكتوني والبلوتوني- على الخصوص نتيجة لتحركات في قشرة الأرض وما تحتها. وهناك الكثير من الأدلة والشواهد المقنعة تشير إلى أن معظم الهزات الأرضية الرئيسية تحدث نتيجة لضغوط عنيفة فجائية في قشرة الأرض، ينجم عنها تصدع وانكسار وانتقال الطبقات على طول خطوط انكسارات وعيوب قديمة كانت موجودة بالفعل. ففي كاليفورنيا قد أمكن تتبع نطاق انكساري يمتد بلا انقطاع من الجنوب نحو الشمال الغربي مسافة تقدر بنحو ٩٦٠ كيلو متراً. وهو النطاق الانكساري الذي يعرف بانكسار سان أندياس San



شكل (٣٨)
انكسار سان أندرياس وانكسارات أخرى نشطة في منطقة
سان فرنسسكو بولاية كاليفورنيا

Andreas .ويمر بمدينة « سان فرنسسكو ». وفي ١٨ ابريل من عام ١٩٠٦ حدثت حركة فجائية في مجال هذا النطاق الانكساري على طول مسافة قدرت بنحو ٤٣٠ كيلومتراً، وسببت زلزالاً عنيفاً أحدث خسائر فادحة. والواقع أن حدوث الزلازل على طول مسافة شاسعة كهذه يعتبر ظاهرة نادرة، والأغلب الأعم أن يتناول تأثير الزلازل مسافات تتراوح بين ٤٠ - ٨٠ كيلومتراً.

وقد أجريت دراسات تفصيلية دقيقة في منطقة انكسار « سان أندرياس » عقب حدوث زلزال عام ١٩٠٦ لمعرفة طبيعة ومقدار انتقال وتغيير موضع الطبقات، تبين منها أنه لم ينشأ عن الحركة حدوث حافات انكسارية، وذلك لأن الحركة كانت أفقية؛ وقد ظهر ذلك واضحاً من تزحزح الطرق وأسوار المزارع والحدائق من مواضعها الأصلية إلى مواقع أخرى على طول خط الانكسار، وقد قيست مقادير التزحزح فوجد أن أكبرها قد بلغ نحو ٦,٥ متر.

وقد حدثت حركة مشابهة في وادي إمبيريال Imperial Valley في كاليفورنيا في عام ١٩٤٠ ولكنها كانت أقل شأناً. وقد كان قسم من هذه الحركة رأسي فأحدث حافة انكسارية.

وفي عام ١٨٩٦ حدث زلزال كبير في منطقة خليج « ياكوتات » Yakutat في ألاسكا Alaska نتيجة لحدوث حركة انكسارية رأسية أدت إلى هبوط أجزاء من الساحل ورفع جزء منه بمقدار ١,٥ متر تقريباً.

وينتشر حدوث الزلازل في المناطق من قشرة الأرض التي أصابتها حركة الالتواءات الألبية الحديثة وما تزال تعاني من تأثيراتها، أي أنها في مرحلة يستمر فيها تغير تركيبها الجيولوجي. ويزداد عنف الزّلازل في مناطق الالتواءات القديمة التي تأثرت بحركات وقوى الضغوط الألبية نظراً لكثرة ما بتركيبها الجيولوجي من عيوب وانكسارات.

وتؤدي الطاقة التي تتجمع من تحركات مكونات القشرة الأرضية في نطاقات الضعف والحركة إلى منشأ العنيف من الزلازل، ومثلها الزلزال الذي هز نطاق صحراء « جوبي » ومرتفعات « ألتاي » Gobi-Altai في عام ١٩٥٧. وهو يعتبر من أقوى الزلازل التي حدثت في العصر التاريخي ثم

الزلازل التي تحدث في مرتفعات تيان شان Tien Shan و« بامير » Pamir وبعضها قوي عنيف كالزلزال الذي حدث في عام ١٨٨٢، وفي عام ١٩١١، وقد كان مركز الأخير إلى الجنوب من بلدة « ألما- أتا » Alma-Ata وكان بالغ العنف والشدة، وامتد تأثيره إلى مساحة قدرت بنحو مليون كيلومتر مربع. وقد انتشرت موجاته في جميع أرجاء الكرة الأرضية ودارت حولها ثلاث مرات. وقد أحدث الكثير من الصدوع والشقوق التي ظهرت في بعض المناطق، وكأن الأرض قد شقها محراث عملاق.

وتعتبر الهزات التي تحدثها الزلازل في سفوح مرتفعات « بامير » و« تيان شان » متوسطة القوة، فهي لا تحدث سوى صدوع في جدران المنازل، وقد تهدم المنازل الضعيفة البناء، كما يحدث عادة في مدينتي طشقند وسمرقند. وقد حدثت زلازل مدمرة أصابت مدينة أشغ أباد Ashkhabad في عامي ١٩٢٩ و١٩٤٨، وكانت مراكزها الداخلية Hypocentres على عمق يتراوح بين ١٥- ٢٠ كم من قشرة الأرض. وقد كان المركز الداخلي للزلزال المدمر الذي أصاب مدينة « أغادير » المغربية في عام ١٩٦٠ على عمق يتراوح بين ٥- ١٠ كيلومتر.

وقريبة إلى الأذهان كارثة الزلازل في إيران التي محت من الوجود مناطق عمرانية بأكملها في شمال شرقيها فقد اهتزت الأرض بعنف في يومين (آخر أغسطس وأول سبتمبر) من عام ١٩٦٨، فهدمت مساكن القرى على رؤوس قاطنيها، وبلغ عدد الضحايا زهاء ٥٠,٠٠٠ شخص. وقد فاقت هذه الكارثة الزلزالية- عنفاً وتدميراً- كارثة عام ١٩٦٢، حين قتلت الزلازل ما يقرب من ١٣,٠٠٠ نسمة. وقد أصاب الدمار الكامل عدة قرى بأكملها. ومنها قرية جوناباد التي وصفها الطيارون الذين شاهدوها من الجو، بأنها بدت كما لو كانت قد ضربت بالقنابل الذرية. ويقال إن ضحايا

الزلازل في إيران أثناء ما انصرم من هذا القرن قد بلغ نحو ٧٥٠,٠٠٠ قتيل، وتهز الزلازل أرض تركيا كثيراً وآخرها ما حدث في أواخر مارس ١٩٧٠، ودمر آلاف المنازل في مدينة جديز والقرى المجاورة لها، واستخرجت أكثر من ألف جثة من تحت الانقاض.

وفي أوائل شهر يونيو من عام ١٩٧٠ أصابت الزلازل مدينة يونجاي السياحية والمنطقة المحيطة بها في بيرو، فقتل بسببها ما يزيد على ٥٣,٠٠٠ شخص، ولم ينج من سكان المدينة البالغ عددهم ٢٠,٠٠ شخص سوى ألفين وقد تسببت المياه التي تدفقت من البحيرات الجبلية المجاورة في اجتياح وادي هو ايلاس البالغ طوله ١٣٠ كم فمحت عدداً كبيراً من القرى.

وعلى الرغم من أن الزلازل لم تصب ميناء شيبوتي (٨٠,٠٠٠ نسمة) بطريق مباشر، إلا أنها صدعت وهدمت نحو ٤٠٪ من المباني، وبلغ عدد الضحايا بالميناء ٣٠٠٠ شخص. وقد أصيب بالخسائر عدد كثير من المدن والقرى الواقعة بين المحيط الهادي وجبال الأنديز إلى الشمال من مدينة ليما عاصمة بيرو.

وفي أواخر يوليو وأوائل أغسطس من عام (١٩٧٦) اجتاحت الزلازل المناطق الشمالية الشرقية من الصين، وبلغ الضحايا عشرات الآلاف من القتلى، وشهدت مدينة تانج شان (تقع شرقي بيكين بنحو ١٨٠ كم) ذات المليون نسمة دماراً كاملاً. كما أصيبت مدن أخرى ومنها العاصمة بأضرار جسيمة.

هذا وتحدث زلازل أخرى عنيفة في إيطاليا والصين واليابان وغيرها من الأقطار التي تقع ضمن قطاعات توزيع الزلازل التي سيرد ذكرها فيما بعد.

المركز السطحي والمركز الداخلي للزلازل Epicentre and Hypocentre

لا تكون قوة الزلزال واحدة على سطح الأرض، وتبلغ قوته ذروتها عند نقطة على سطح الأرض تسمى بالمركز السطحي. وفي أسفلها في اتجاه عمودي تقع نقطة أخرى هي نقطة مولده، وتسمى بالمركز الداخلي للزلزال وفيه تنشأ الهزات العنيفة التي تحدثها ذبذبات تماوجية تصل في اتجاه رأسي إلى المركز السطحي، كما تنتشر في اتجاهات متباينة أخرى إلى جميع أجزاء جرم الأرض.

قوة الزلازل ومدى تأثيرها في مناطق العمران:

تتباين الهزات الأرضية في درجة قوتها. فمنها الضعيف الذي يحدث ولا يكاد يحس به أحد، ومنها العنيف المدمر الذي يسبب خسائر كبيرة في مناطق العمران. ولكي نتمكن من المقارنة بين درجة تأثير مختلف الهزات الزلزالية ونتائجها في مختلف الأماكن، فقد أنشأ المختصون بالدراسات الزلزالية مقياساً لمعرفة درجة التأثير يبدأ من الرقم ١ وينتهي بالرقم ١٢، هذا المقياس توضحه القائمة التالية:

القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
١	بالغة الضعف	لا يحس بها سوى آلات التسجيل الزلزالية.
٢	ضعيفة جداً	لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العلوية من المباني.
٣	ضعيفة	لا يحس بها إلا عدد قليل من الناس.
٤	متوسطة	يحس بها معظم الناس في المباني، وبعض سكان

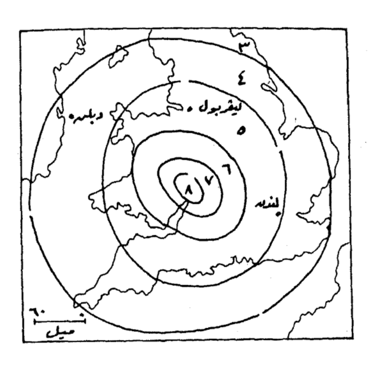
القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
		الأدوار الأرضية. وهي لا تثير الخوف. وتسبب اهتزاز النوافذ والأبواب، وتتذبذب الأشياء المعلقة قليلاً.
٥	محسوسة	يشعر بها كل من في المنازل، وبعض من في خارجها، وتوقظ النائمين، وتثير الخوف عند بعض الناس. تغلق الأبواب بسببها وتفتح، وتهتز الأشياء المعلقة بشدة.
٦	قوية	يشعر بها كل من في داخل المباني، ويندفع كثير منهم إلى الشوارع فزعين، وتسقط الأشياء من على الرفوف في المنازل، وتحدث شروخ في طلاء الجدران، وتسبب تلفاً طفيفاً في المنازل الصغيرة.
٧	عنيفة	تثير الخوف والرعب. يشعر بها من في المنازل ومن بخارجها. يندفع الناس إلى الشوارع في رعب، وتدق بسببها أجراس الكنائس، وتحدث بعض الأضرار لكثير من المباني.
٨	مخربة	تثير الرعب. تحدث أضراراً متوسطة للمباني، وتخرب بعض المنازل. لا ينجم عنها خسائر في الأرواح، ولكنها تؤذي بعض الناس.
٩	مدمرة	تتحطم بعض المباني كلية. وكثير منها يصاب بتخريب شديد، ويلقي قليل من الناس مصرعهم.

القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
١٠	شديدة التدمير	كثير من المباني تتحطم عن آخرها، كما يصرع العديد من الناس. تظهر بعض الشقوق في قشرة الأرض، وتبدأ عمليات الانزلاق الأرضي في المرتفعات.
١١	بالغة التدمير	تتحطم المباني الحجرية عن آخرها. تلتوي العمد الحديدية. تتحطم السدود والقناطر. تظهر شقوق متسعة في الأرض. يحدث الكثير من الانهيارات الأرضية.
١٢	شاذةالتدمير مفجعة	تتحطم جميع المباني بلا استثناء. وتتشق الأرض ويحدث انتقال موضعي للطبقات الصخرية أفقياً ورأسياً. وتهبط السواحل وتغوص أجزاء منها في مياه البحر.

وبناء على هذا المقياس تقسم المساحة التي يصيبها زلزال إلى نطاقات تتباين من حيث شدة إصابتها بتأثيره. وتحيط بهذه النطاقات مساحة مركزية تبلغ فيها شدة التأثير أقصاها، وشكل النطاقات دائري أو بيضاوي (شكل ٣٩) ولكن حين يحدث الزلزال على طول انكسار. فإن النطاقات عندئذ لا تكون دائرية أو بيضاوية، وإنما تكون مستقيمة لمسافات طويلة موازية لخط الانكسار كما هي حال زلزال عام ١٩٠٦ في كليفورنيا (شكل ٤٠).

التوزيع الجغرافي للزلازل:

على الرغم من أن الهزات الأرضية ظاهرة شائعة في جميع أنحاء الأرض، إلا

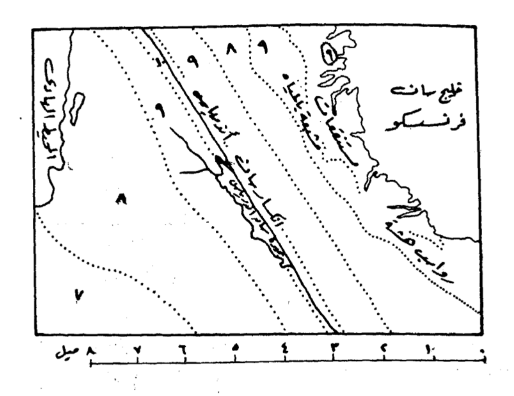


شكل (٣٩) توضح الخريطة مدى شدة وكثافة زلزال حدث قرب هيرفورد Hereford بانجلترا في عام ١٨٩٦ ، وتشير الأرقام إلى قوة الزلزال في مختلف النطاقات.

ان ما يحدث منها على اليابس يتركز في مناطق معينة ، ومعظمها يقع ضمن ثلاثة نطاقات كبيرة هي:

١ – نطاق يمتد فوق سلاسل المرتفعات التي تحيط بسواحل المحيط الهادي في أمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية وآسيا ، ويتضمن الجزر وأشباه الجزر التي تكتنف تلك السواحل كجزر ألوشيان واليابان والفلبين.

٢ – نطاق يمتد فوق ساحل البحر المتوسط ويشمل مرتفعات الألب والقوقاز ، ويمتد شرقاً ليشمل مرتفعات الهيمالايا إلى جزر إندونيسيا ، وهناك يلتقي بالنطاق الأول.



شكل (٤٠) نطاقات شدة زلزال عام ١٩٠٦ في القسم الأدنى من شبه جزيرة سان فرنسيسكو، تشير الأرقام إلى درجات الشدة في مختلف النطاقات. وقد بلغ الزلزال أقصى شدته في نطاق ضيق على جانبي انكسار أندرياس، وتناقصت الشدة بوجه عام على كلا جانبيه باستثناء النطاق القريب من خليج سان فرنسيسكو الذي يتركب من رواسب مفككة، ففيه بلغت الشدة درجة كبيرة. وتتباين الصخور في درجة تأثرها بالزلازل حسب نوعها وطبيعتها، وهذا يؤدي إلى عدم انتظام توزيع النطاقات. أما نطاق المستنقعات فهو غير مأهول بالسكان، ولهذا فشدة الزلزال فيه مجهولة.

٣- نطاق يشمل منطقة الأخاديد بشرق افريقيا وجنوب غرب آسيا، ويرتبط حدوث الزلازل بهذا النطاق بوجود الانكسار الافريقي العظيم، الذي أصاب قشرة الأرض في أواخر الزمن الجيولوجي الثاني، واستمر تكوينه أثناء الزمن الثالث. ويعتقد بعض الجيولوجيين أن نشاط الانكسار ما زال دائباً في بعض المناطق حتى الوقت الحاضر.

شكل رقم(٤١): توزيع نطاقات الزلازل والبراكين على سطح الأرض. الدوائر السوداء الصغيرة تمثل البراكين النشطة والبراكين الساكنة حالياً. وتمثل المساحات المظللة بالنقط النطاقات التي تتعرض للهزات الزلزالية. أما الأجزاء المظللة بالخطوط المائلة فتمثل المساحات التي تصيبها زلازل عنيفة.

ويتفق توزيع هذه النطاقات إلى حد كبير مع توزيع النطاقات البركانية. وقد تبدو هذه الحقيقة مؤيدة للرأي القائل بأن النشاط البركاني له أهمية كبيرة في إحداث الزلازل. ورغم هذا يمكن القول بأن توزيع النطاقات الزلزالية البركانية يتفق مع توزيع سلاسل المرتفعات الحديثة التي تمثل مناطق ضعف واضطراب في قشرة الأرض، ولهذا يحتمل أن منشأ الزلازل والبراكين إنما يرجع إلى سبب مشترك، وهو الاضطراب الذي يحدث في مناطق الحركة والضعف في قشرة الأرض.

وعدا هذه النطاقات الثلاثة هناك نطاق رابع بحري يمتد في المحيط الأطلسي من الشمال إلى الجنوب ويتفق توزيع الزلازل فيه مع حافات بحرية غائصة تعد من مناطق الضعف في قاع المحيط، وذلك لوجودها بين حوضين محيطيين عميقين مما يجعلها عرضة للتقلقل والاضطراب.

الزلازل البحرية:

منذ أن اخترعت الآلات الحساسة التي يمكن بواسطتها تسجيل الهزات الأرضية البعيدة المدى وتعيين مواقعها، أمكن التعرف على كثير من الزلازل التي تنشأ في قيعان المحيطات.

وأهم ما يميز الزلازل البحرية هي تلك الأمواج الضخمة العاتية التي يسببها الاضطراب الذي تحدثه الهزات الزلزالية في قاع المحيط. وقد كانت تلك الأمواج تعرف خطأ بأمواج المد مع أنها لا تمت بصلة لحركات المد والجزر. وتعرف هذه الأمواج الآن باسم ياباني هو تسونامي Tsunami، ويطلق عليها أيضاً تعبير الأمواج الزلزالية البحرية Seismic sea waves.

وبعض هذه الأمواج عظيم الضخامة، إذ يبلغ طول الموجة أحياناً بين ١٥٠-٣٠٠ كيلومتراً، ويبلغ ارتفاعها نحو ١٢ متراً. وهي تبدو طويلة متسعة في عرض المحيط بحيث قد لا تشعر بضخامتها السفن التي تجوب مياه المحيط، ولكنها حين تقترب من السواحل تتحول إلى أمواج ضخمة عاتية ترتطم بالسواحل وتتوغل في اليابس، وتتسبب في أضرار بالغة، ويذهب ضحيتها العديد من الناس. وتسير هذه الأمواج الضخمة في المحيطات بسرعة كبيرة تتراوح بين ٥٠٠- ٨٠٠ كيلومتر في الساعة.

وتحدث أمواج التسونامي أساساً في المحيط الهادي، ويقل حدوثها في المحيط الأطلسي وفي البحر المتوسط.

ومن بين أمواج التسونامي المدمرة الشهيرة التي سجلها التاريخ وأحدثت خسائر فادحة تلك الأمواج التي أصابت سواحل البرتغال في عام ١٧٥٥م، وسواحل اليابان في عامي ١٧٠٣ و١٨٩٦، وسواحل بيرو في عام ١٨٦٨، والأمواج التي أصابت ساحل المملكة المغربية من ليلة ٢٩ فبراير إلى يوم ١ مارس ١٩٦٠ واكتسحت كل ما وجدته في طريقها. وحينما حدث الزلزال في خليج «ساجامي» Sagami باليابان الذي نشأ عنه ارتفاع جزء من قاع الخليج بمقدار ٢٣٠ مترا، وانخفض جزء آخر بمعدل وصل إلى نحو ٤٠٠ متر، بُعثت أمواج تسونامية بلغ ارتفاعها أكثر من عشرة أمتار، وزحفت على اليابس مزمجرة مدمرة. وحينما حدث زلزال شيلي في عام ١٩٦٠ أنشأ أمواجاً عظيمة قطعت عشرات الآلاف من الكيلومترات عبر المحيط الهادي واكتسحت جزر هاواي وجزر اليابان وجزر كوريل.

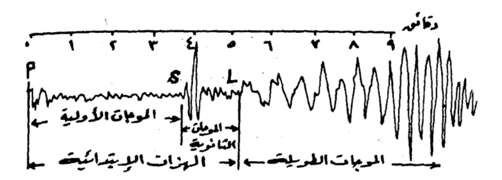
إستجابة الأرض للموجات الزلزالية

طبيعة باطن الأرض

تمكن العلماء من معرفة الكثير عن طبيعة باطن الأرض عن طريق دراسة الموجات الزلزالية. وقد تبين أن الاهتزازات الزلزالية التي تخترق جرم الأرض وتسجلها الآلات الحساسة على أبعاد متفاوتة من مركز الزلزال تظهر اختلافات واضحة في طبيعة المواد التي تتركب منها الطبقات الصخرية التي تخترقها.

ويمكن تلخيص أهم الحقائق التي أمكن جمعها من مختلف الدراسات فيما يلي:

١ - وجد أن الموجات الطويلة Long waves (شكل ٤٢) التي تتخذ لها مساراً حول الأرض خلال الصخور التي تقع مباشرة تحت سطح الأرض، تسير في قيعان البحار العميقة بسرعة أكبر من سرعتها خلال الكتل القارية. مثال ذلك أن الموجات الطويلة التي يحدثها زلزال في كاليفورنيا تخترق قاع المحيط الهادي وتصل إلى اليابان، كما تخترق اليابس الأمريكي وتسجلها مراصد نيويورك، وقد وجد من دراسة تلك الموجات أن سرعتها وهي في طريقها إلى اليابان أكبر من سرعتها وهي في طريقها إلى نيويورك. ونستنتج من هذا أن صخور الجرانيت أو صخور السيال Sial (اختصار لفظي سيليكا وألومنيوم) التي تتركب منها الكتل القارية لا تدخل في تركيب قيعان البحار العميقة. ويتفق هذا مع الشواهد الجيولوجية التي تشير إلى أن الصخور الداكنة كالبازلت أو صخور السيما Sima (اختصار لفظي سيليكا ومغنسيوم) تسود في قيعان البحار العميقة.



شكل رقم (٤٢):- تسجيل لهزات زلزال حدث في آسيا الصغرى أجرى في بولكوفو Pulkovo بالروسيا.

P = بداية الموجات الأولية.

S = بداية الموجات الثانوية.

L = بداية الموجات الطويلة.

وقد كان الفرق في الزمن بين S,P هو ٣ دقائق و٤٣ ثانية، وهو يقابل مسافة مقدارها ٢٢٤٠ كيلومتراً بين محطة الرصد والمركز السطحي للزلزال.

٢- وجد أن الموجات الأولية والثانوية Primary & Secondary تخترق الأرض بسرعة تتزايد بازدياد العمق إلى أن تصل إلى عمق يبلغ نحو ٢٩٠٠ كيلومتر.

وبناء على هذا نجد في الشكل رقم (٤٣) أن الموجات الأولية والثانوية التي تصل إلى محطتي التسجيل ١ و٢ تسير بسرعة معدلها أكبر من الموجات التي تسجلها مراصد محطتي ٣ و٤.

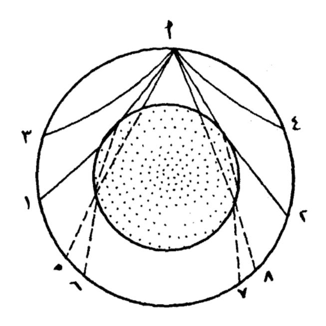
ويرجع السبب الرئيسي في ازدياد معدل سرعة الموجات كلما ازداد العمق إلى ازدياد قوة الجاذبية التي تعمل على شدة توتر المواد الصخرية، وبالتالي إلى ازدياد مرونتها. وتنتقل الموجات الثانوية طليقة في تلك المواد المرنة، ومثل تلك الموجات لا تخترق السوائل العادية.

٣- وقد تبين من الدراسات أنه عند عمق نحو ٢٩٠٠ كيلومتر يتغير سلوك تلك الموجات فجأة، إذ يتناقص معدل سرعة الموجات الأولية من حوالى ١٢ كيلومتر في الثانية إلى نحو ٨ كيلومتر في الثانية، وتضعف سرعة الموجات الثانوية ضعفاً شديداً أو قد تضمحل تماماً. وعلاوة على ذلك وجد أن الموجات الأولية التي تخترق أعماقاً تزيد على ٢٩٠٠ كم تنكسر، كما يحدث عندما تنكسر أشعة الضوء التي تمر من الجو وتخترق المياه (شكل ٤٣).

وقد اتضح من ذلك أن للأرض نواة يبلغ قطرها نحو ٦٨٠٠ كيلومتر، وأن طبيعة وتركيب هذه النواة يختلفان عن طبيعة وتركيب الغلاف الخارجي الذي يحيط بها (شكل ٤٤).

٤- هناك أيضاً من الشواهد ما يدل على أن الغلاف الخارجي ينقسم إلى قسمين رئيسيين، فقد وجد أنه على الرغم من استمرار ازدياد سرعة الموجات إلى عمق ٢٩٠٠ كم، يحدث انخفاض فجائي في معدل ازدياد السرعة ابتداء من عمق نحو ١٠٠٠ كم، ولهذا يحتمل أن المواد التي توجد أسفل عمق ١٠٠٠ كم تختلف في نوعها وطبيعتها عن المواد التي توجد فوق ذلك العمق.

٥- وقد أمكن التعرف على طبيعة الأجزاء العميقة من الأرض كالنواة والقسم السفلي من الغلاف الخارجي (أسفل ١٠٠٠ كم) بواسطة الهزات الزلزالية التي سجلت من مسافات بعيدة. أما الهزات الزلزالية التي تسجلها مراصد قريبة لا تبعد عن مركز الزلزال بأكثر من بضع مئات من الكيلومترات (تسمى بالزلازل القريبة Near Earthquakes) فإنها تعطينا معلومات قيمة عن طبيعة النطاقات الضحلة من الأرض، إذ تسجل المراصد القريبة من مركز الزلزال موجات أولية وثانوية عادية تخترق قشرة الأرض كما تسجل موجات أخرى أولية انكسرت في طبقة تقع أسفل القشرة وبالتالي



شكل (٤٣) قطاع في الأرض يوضح مسالك الموجات الزلزالية التي نشأت عند المركز أ. المحطات الواقعة بين أ و١ وبين أ و٢ تستقبل تسجيلاً كاملاً للموجات. وتستقبل المحطات الأخرى بعد محطتي ١ و٢ (كمحطات ٥ و٦ و ٧ و٨) الموجات الثانوية ضعيفة، كما أن الموجات الأولية تنكسر في أثناء طريقها إلى تلك المحطات كما يبدو في الرسم، ولهذا فإن نطاقاً بين محطتي ٢ و٨ ونطاقاً آخر بين محطتي ١ و٥ لا يستقبلان الموجات الأولية، أما الموجات التي تتحرك حول سطح الكرة الأرضية فإنها تصل إلى جميع المحطات. وقد أهملنا رسم الموجات المنعكسة حتى يبقى الرسم مبسطاً واضحاً.

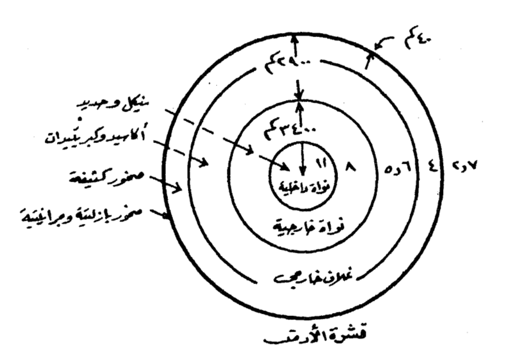
أكبر منها كثافة. وقد تبين من هذا أن الصخور التي نعرفها على سطح الأرض تحتل في الواقع قشرة رقيقة نوعاً ترتكز على طبقة من الصخور أكثر منها كثافة وثقلاً. ويستخدم الفنيون في الدراسات الزلزالية آلات حساسة لمعرفة الاختلاف والتباين في طبيعة ونوع صخور القشرة السطحية، إذ يجرون انفجارات اصطناعية تولد موجات تنعكس أو تنكسر أثناء مرورها من نوع معين من الصخور إلى نوع آخر. وعن طريق دراسة التسجيلات المختلفة لمثل

تلك الموجات الزلزالية الاصطناعية في مختلف المحطات التي تختار على أبعاد في مواقع معينة، يمكن حساب وتعيين مواقع الالتواءات والكسور والعيوب والفوالق التي توجد تحت سطح الأرض، كما يمكن التعرف على الطبقات الحاملة لبعض المواد والمعادن المفيدة للإنسان كالبترول والملح الصخري وغيرهما.

تركيب الأرض

لقد تبين من مختلف الأبحاث والدراسات الطبيعية أن متوسط كثافة المواد المكونة للكرة الأرضية يبلغ ٥,٥٢ ، أما كثافة الصخور التي تتركب منها القشرة السطحية، وهي غالباً صخور جرانيتية فتبلغ ٢,٧ ، أي أقل من نصف كثافة الكرة الأرضية ككل. ولهذا ينبغي أن يكون باطن الأرض مكوناً من مواد أكثر كثافة من الصخور التي نعرفها (شكل ٤٤).

ويعتقد أن النواة التي تحتل باطن الأرض والتي يبلغ قطرها نحو ٦٨٠٠ كم تتكون من مواد معدنية ذات كثافة عالية. وهنا ينبغي لنا أن نتساءل عما يمكن أن تكون تلك المعادن التي تدخل في تركيب باطن الأرض. ومن المعروف أن النيازك التي تتساقط موادها على الأرض أحياناً، يتركب بعضها من الحديد والنيكل، وبعضها الآخر من صخور داكنة ثقيلة. ولما كان يعتقد أن الأجرام السماوية والكواكب ومنها الأرض قد اشتقت من مواد متماثلة التركيب، فإنه يقال إن تركيب تلك النيازك يلقى ضوءاً على تركيب الأرض. ومن ثم يعتقد أن النواة المركزية للأرض تتكون من الحديد والنيكل، ومتوسط كثافتها بين ٨ و١١.



شكل (٤٤) أغلفة الكرة الأرضية وتركيبها الداخلي.

وتدل الشواهد أيضاً على أنه قد حدث في المواد المكونة للأرض تصنيف طبقي من حيث الكثافة، فأكثر موادها كثافة يوجد حول المركز، وأقلها كثافة قرب السطح، ولهذا يعتقد أن الأرض قد مرت في المرحلة الأولى من تاريخ تكوينها بفترة كانت فيها في حالة منصهرة. وفي أثناء تلك المرحلة يقال إن الجاذبية قد عملت على أن تستقر المواد الثقيلة عند المركز وحواليه، تليها تجاه السطح المواد الخفيفة ثم الأخف، وهكذا نشأت أغلفة مستديرة حول النواة تختلف في كثافاتها. ويحدث مثل هذا في أفران صهر المعادن حيث يستخلص المعدن من الخام. فحينما تصهر كتلة كبيرة من الخام فإن المعدن ينفصل ويترسب في قاع الفرن نظراً لثقله، يليه إلى أعلى طبقة من الأكاسيد والكبريتيدات، وهي مواد ثقيلة أيضاً إلا أنها أخف من المعدن

نفسه، ثم على السطح نجد طبقة من المخلفات الصخرية وهي أخفها جميعاً. وقياساً على هذا يعتقد أن الغلاف الذي يبلغ سمكه نحو ١٩٠٠ كيلومتر والذي يمتد أسفل عمق ١٠٠٠ كيلومتر (من السطح) إلى النواة المركزية، يتركب من مواد بازلتية ومواد معدنية معظمها أكاسيد وكبريتيدات يبلغ متوسط كثافتها ٥,٦ ، ويفسر هذا الاختلاف في التركيب تناقص معدل سرعة الموجات الزلزالية تحت عمق ١٠٠٠ كيلومتر.

وتدل الشواهد المستقاة من دراسة الموجات الزلزالية بأن الصخور تمتد بلا انقطاع من السطح إلى عمق نحو ١٠٠٠ كم. ويعتقد أن معظم هذا الغلاف السميك يتركب من صخور داكنة اللون تبلغ كثافتها نحو ٤، أما القشرة السطحية فيبلغ سمكها بضع عشرات من الكيلومترات، ويتركب القسم الأسفل منها من صخور البازلت أو الجابرو، يليه إلى أعلى صخور الدايوريت ثم الصخور الجرانيتية التي تكون الكتل القارية. هذا ويتباين سمك القشرة السطحية من مكان لآخر، إذ يبلغ سمكها في الكتل القارية بين ٣٠ و ٤٠ كيلومترا، وأسفل السلاسل الجبلية إلى نحو ٧٠ كيلومترا، بينما يتراوح سمكها أسفل المحيط الهندي والمحيط الأطلسي بين ١٠ و١٥ كيلومترا ،أما أسفل القسم الأوسط من المحيط الهادي فيسترق سمكها إلى نحو ٥ كيلومتر.

وقد سبق أن ذكرنا أن النواة المركزية تتركب من معدني الحديد والنيكل ولهذا تسمى «نايف Nife» اختصاراً لكلمتي نيكل وحديد. ولكن هناك من يرى الآن أن النواة تختلف عن الأغلفة الأخرى التي تحيط بها بطبيعة المادة وحالتها أكثر من اختلافها عنها في التركيب. إذ يعتقد أن الضغط المرتفع الذي يسود النواة يجعل المواد التي تتركب منها- تحتوي على سيليكات- في حالة متعمدنة metallised state ، ويعني هذا أن قسماً من

الذرات قد تحطم تحت تأثير الضغط الشديد وفقد كمية من إليكتروناته.

هذا ويتزايد الضغط بسرعة كلما تعمقنا في باطن الأرض: فعلى عمق كيلومتر واحد يكون الضغط ٢٧٥ وحدة ضغط جوي، وعلى عمق ٧٠ كلم يصبح ١٨٩٠٠ ضغط جوي، وعلى عمق ١٣٠٠ كلم يكون ٤٠٣١٠٠ ضغط جوي، وعند عمق ٢٩٠٠ كلم يصبح ١٢١٣١٠٠ ضغط جوي، أما في مركز الأرض فيصل مقدار الضغط نحو ٤١٦٣٤٥٠ ضغط جوي.

ويوضح الشكل رقم (٤٤) أغلفة الأرض كما شرحناها. ويحتمل أن هذه الأغلفة تتداخل في بعضها، ومن ثم لا نجد حدوداً فاصلة حادة كالتي تستبين من الشكل. وينبغي أن يكون مفهوماً أن هذا التصنيف التركيبي للأرض هو في واقع الأمر مجرد تصنيف نظري يستحيل القطع بصحته، فالمسألة لا تعدو مجرد تصنيف لإعطاء صورة عامة عن تركيب الأرض على أساس ما تجمع لدى العلماء من أدلة وشواهد. وعلى أي حال فإن النظريات تنشأ حينما تتجمع لها أدلة وشواهد، وهي أقرب إلى الفهم والإدراك من مجرد الحدس والتخمين اللذين كانا سائدين خلال القرن الماضي.

والزلازل- كما رأينا- لها قيمة علمية كبيرة ولو أنها تحدث التدمير والتخريب، فلقد برهنت الموجات الزلزالية على أنها أفضل وسيلة للتعرف على أسرار أعماق الأرض التي تستحيل علينا رؤيتها. ولا شك أن نمو وتقدم وتطوير الدراسات العلمية سيزيد من معرفتنا بطبيعة وتركيب الأغلفة الداخلية للكرة الأرضية.

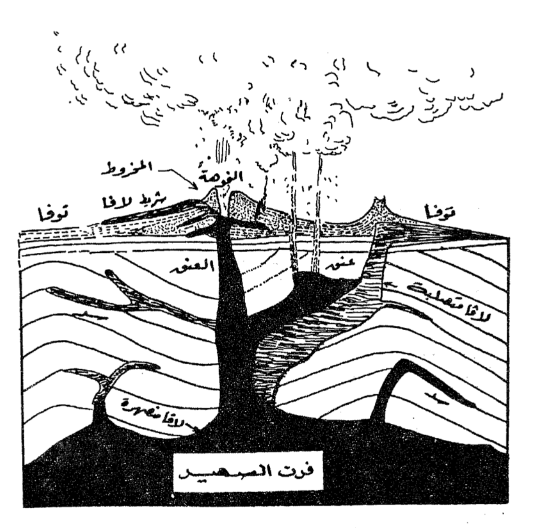
النشاط الناري الطفحي

البراكين

تعتبر الثورانات البركانية من أكبر الظاهرات المروعة والمفجعة في الطبيعة. وفي معرض الحديث عن البراكين كثيراً ما يقال بتقسيمها إلى براكين نشطة، وأخرى خامدة، والواقع أن هذا التقسيم اصطلاحي محض فهناك من البراكين ما ثارت ونشطت بعد فترة سكون دامت عدة قرون، نمت أثناءها الغابات على جوانبها وتحولت فوهاتها إلى بحيرات. ولهذا يمكن اعتبار البركان نشيطاً إذا استمر نشاطه أو أنه قد ثار مرة أو أكثر أثناء العصر التاريخي المعروف لدينا. أما البركان الخامد فهو الذي سكن وخمد قبل العصر التاريخي. وبالتالي لم يذكر التاريخ شيئاً عن نشاطه. ويوجد في العالم الآن نحو ٤٧٦ من البراكين النشطة. وأكثر من ٤٠٠٠ من البراكين الخامدة.

والبركان عبارة عن جبل مخروطي الشكل، في قمته تجويف يسمى فوهة Crater تنبثق منها على فترات غازات وكتل صخرية وقذائف وحمم ومواد منصهرة تعرف باللافا Lava. وتمتد من قاع الفوهة إلى أسفل قناة (مدخنة أو قصبة) تصل إلى فرن الصهير، وتندفع خلالها المواد البركانية إلى الفوهة، وتعرف بعنق البركان. (شكل ٤٥).

وتتباين أحجام البراكين، فمنها المخاريط الصغيرة، ومنها الضخم الذي يناهز في ارتفاعه أعلى القمم الجبلية في العالم. ففي مرتفعات «الأنديز» تكون البراكين مخاريطاً من أعلى قممها ارتفاعاً، بعضها ما يزال نشيطاً كبركان «كوتوباكسي» Cotopaxi في «إكوادور» وهو أعظم براكين العالم



شكل (٤٥) قطاع في بركان طباقي. يتضح فيه التركيب الطباقي الذي ينشأ عن تعاقب طبقات من اللافا وأخرى من تكوينات التوفا البركانية.

النشطة ارتفاعاً، إذ يبلغ ارتفاعه أكثر من ٦٠٠٠ متر. وترتكز براكين «الأنديز» على كتلة قديمة مقطعة تعلوها البراكين بارتفاعات تتراوح بين ٣٠٠٠ و ٣٧٠٠ متر.

وترتفع البراكين فوق قاع المحيط كما تبرز فوق كتل اليابس. ومن البراكين المحيطية ما هو ضخم عظيم ينشأ فوق قاع المحيط، ويظهر شامخاً فوق مستوى مياهه، ومنها براكين جزر هاواي Hawaii التي ترتكز قواعدها في

المحيط على عمق يتراوح بين ٤٢٠٠ م و٥٤٠٠ م، وترتفع فوق سطح مياه المحيط بنحو ٤٣٠٠ م، وبذلك يصل ارتفاعها الكلي من قاع المحيط إلى قممها نحو ٩٠٠٠ م.

مراحل النشاط البركاني

تصنيف البراكين

تُصنف البراكين إلى أنواع حسب طبيعة النشاط البركاني، وهذه الأنواع ما هي إلا مراحل معينة من الثوران تتميز كل مرحلة منها بنمط معلوم من المواد التي يغلب خروجها من البركان. والمواد التي ينفثها البركان أثناء ثورانه هي الغازات واللافا المنصهرة ثم الحطام الصخري المتوهج. وتتوقف طبيعة أي نشاط بركاني إلى حد كبير على نسب كميات ما يخرجه من تلك المواد الثلاثة.

وتتميز بعض البراكين- ومنها بركان «فيزوف»- بدورات نشاط محددة ومعروفة. وتبدأ كل منها بمرحلة خروج غازات، تليها مرحلة خروج اللافا التي تنتهي بانبثاقها من المنحدرات، ثم مرحلة ثالثة تتمثل في خروج المقذوفات الصخرية.

ومن الممكن أن تتباين مرحلة من مراحل النشاط في كثافتها أثناء الثوران الواحد أو أثناء الثورانات المتتالية، وهذه تقاس بمدي قوة الثوران أو بكمية المواد المنبثقة من البركان.

١- نوع هاواي **Hawaiian Type** (مرحلة خروج اللافا):

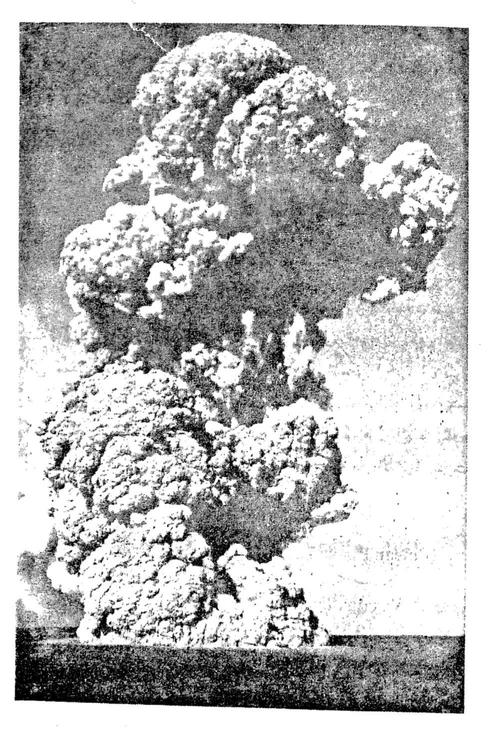
ويتمثل هذا النوع أو هذه المرحلة أصدق تمثيل في براكين جزر هاواي.

ويتميز بخروج اللافا القاعدية (البازلتية) المتحركة التي لا يصحبها انبثاق غازات أو مقذوفات صخرية. ودرجة حرارة اللافا تكون عظيمة الارتفاع لذا تكون في حالة سائلة. وتتحرك اللافا التي تملأ الفوهات حركة دائبة، وتغلي بهدوء وأحياناً تندفع إلى أعلى في شكل نافورات ترتفع إلى عدة عشرات من الأمتار لبضع دقائق ثم تتلاشى. وحين تمتلىء الفوهات باللافا تطفح وتفيض من حوافها على جوانب البراكين. وتتوقف ضخامة سيل اللافا المتدفق على معينه في باطن قشرة الأرض، فأحياناً يكون فرن الصهير عظيماً فتتدفق اللافا في سيل يمتد بضع عشرات من الكيلومترات.

وجزيرة.هاواي التي يتمثل فيها هذا النوع عبارة عن كتلة بازلتية ضخمة توجد بها خمسة براكين كبيرة منها اثنان نشيطان هما « مونالوا » Mauna Loa (يبلغ ارتفاعه نحو ٤١٠٠ متر) وكيلويا Kilauea (ارتفاعه حوالى ٤٢٠٠ م).

ويعتبر بركان « مونالوا » من أعظم براكين العالم الحالية اتساعاً ونشاطاً. وتخرج اللافا منه على هيئة أعمدة ضخمة رائعة، تتكون من مادة ملتهبة سائلة، تبدو أحياناً في شكل نافورات نارية متوهجة ترتفع إلى بضع عشرات من الأمتار. وحينما يستمر خروج اللافا في شكل نافورات متتالية متجاورة على طول فالق الانبثاق، فإنها تبدو حينئذ في هيئة جدار هائل من النار المتوهجة، وتنبثق لافا بركان « مونالوا » عادة من خلال شقوق وفوالق في جوانبه، كما تفيض أيضاً من فوهته.

أما بركان « كيلويا » فيقع إلى الشرق من بركان « مونالوا » بنحو ٣٥ كم. وفي قمته توجد فوهة فسيحة من نوع « كالديرا » (سيرد شرحها فيما بعد) يبلغ طول محيطها نحو ١٥ كم، وهي عبارة عن منخفض بيضاوي الشكل



شكل(٤٥) الثوران الانفجاري لبركان كيلويا Kilauea في عام ١٩٢٤، وقد وصل ارتفاع هذه السحابة التي تشبه في مظهرها « القنبيط » نحو كيلو مترين.

تحيط به حافات أو حوائط صخرية رأسية يبلغ ارتفاعها نحو ١٤٠ م. ويشغل قاع المنخفض فرن ناري دائم يطلق عليه اسم هاليموماو Halemaumau بلغ اتساعه قبل عام ١٩٢٤ حوالى ٤٠٠ متر، وهو أشبه ببحيرة فيها تغلي مواد بازلتية منصهرة، تبلغ درجة حرارتها بين ١٠٠٠ و١٢٠٠°م (متوسطها حوالى درجة انصهار الذهب ١٠٦٢°م). وفي عام ١٩٢٤ هبط فرن اللافا فجأة في قاع المنخفض بمقدار ٢٠٠ متر، وقد تبع ذلك حدوث انفجارات في جوانب الفوهة فازداد اتساعها وأصبح طولها حوالى ١٠٠٠ متر وعرضها ٩٠٠ متر وعمقها ٤٠٠ متر.

وقد دلل انفجار هذا البركان في عام ١٩٢٤ بعد فترة طويلة دامت ١٣٤ سنة، كانت خلالها تخرج المصهورات بهدوء، على أنه حتى البراكين البازلتية التي تنبثق منها عادة أكثر أنواع اللافا سيولة من الممكن أحياناً أن تثور في هيئة انفجارات عنيفة. ويعزى حدوث هذه الانفجارات إلى إنصباب كميات كبيرة من المياه في عنق البركان نتيجة لهبوط فرن اللافا المفاجىء إلى عمق كبير، وترتب على ذلك توليد كميات هائلة من الأبخرة تسببت في إحداث الانفجارات (أنظر شكل ٤٥).

٢ - نوع بيلي Pelean Type (المرحلة البيلية Pelean Phase):

يطفح هذا النوع من البراكين لافا لزجة Viscous lava ، تتصلب في فوهة البركان، فتسد الطريق أمام انبثاق الغازات والأبخرة. وهذا يفسر نوع ثورانات هذه البراكين التي يصحبها هزات أرضية عنيفة وانفجارات تقذف بكميات هائلة من الأبخرة والغازات والرماد والحطام الصخري والقذائف. وتنفث هذه البراكين غازات بالغة الحرارة (نحو ٧٠٠°م وأكثر). ولهذا السبب فإن سحب الغازات والرماد التي تهبط على جوانب المنحدرات

في عنف العواصف الجوية تدمر كل ما يصادفها في طريقها، فمثل هذه السحب هي التي أهلكت مدينة «سان بيـير» Saint Pierre حينما ثار بركان «مونت بيلي» الذي يقع في جزيرة مارتنيك Martinique من جزر الهند الغربية.

وقد بدأ بركان مونت بيلي Mount pelee يثور في مايو من عام ١٩٠٢ في شكل سلسلة من الانفجارات العنيفة. وقد كان هادئاً منذ عام ١٨٥١ إلا من بعض الثورانات الضعيفة المتقطعة. وقد استهل ثورانه العام بنشاط متقطع ينذر بالثوران الكبير. وفي صباح ٨ مايو أخذ يقذف بمكونات سحابة هائلة كثيفة سوداء من الأبخرة والغازات الشديدة الحرارة والحمم والجمرات الملتهبة، اتخذت طريقها تجاه البحر بسرعة بلغ معدلها نحو كيلو مترين في الدقيقة الواحدة. وقد اكتسحت السحابة في طريقها مدينة سان بيـير التي تبعد عن مصدر السحابة بنحو ٨ كيلومتر، ودمرت المدينة في ثواني معدودات، وأهلكت سكانها واللاجئين إليها من الأراضي المتاخمة للبركان في الأيام السابقة لثورانه العارم طلباً للحماية والأمن. وقد ذهب ضحية السحابة نحو ٢٨٠٠٠ نفس في بضع ثوان، ولم ينج من سكان المدينة سوى شخصين فقط!.. وقد دام انبثاق تلك السحب القاتلة في فترات متقطعة غير منتظمة عدة أشهر. ولم يهدأ ثورانه تماماً إلا بعد عام ١٩٠٥.

وفي ١٦ سبتمبر عام ١٩٢٩ حدثت انفجارات أخرى في بركان مونت بيلي. وفي اليوم التالي- أي بعد حدوث تلك الانفجارات بيوم واحد لم يبق حياً في مدينة سان بيـير سوى ثلاثين شخصاً. وفي منتصف نوفمبر بدأت سحب كثيفة في التصاعد من البركان. وقد خرج منها المئات التي اختلفت في مقدار ضخامتها وكثافتها، ولكن أياً منها لم يصل في عنفوانه وتدميره القدر الذي بلغته سحب ثوران عام ١٩٠٢. ويرجع سبب الضعف النسبي

لتلك السحب إلى أن فترة الهدوء كانت من القصر (بين عامي ١٩٠٢ و١٩٢٩) بحيث لم ينشأ خلالها مثل الضغط الغازي البالغ الشدة الذي أحدث انفجارات وسحب ثوران عام ١٩٠٢.

ولقد وجه ثوران بيلي في عام ١٩٠٢ الأنظار إلى دراسته وتحديد مميزاته وخصائص سحبه التي تعرف الآن باسم «السحب البيلية Pelean Clouds.

ويمكن تلخيص السمات العامة للسحب البيلية فيما يلي:

ينفث البركان السحابة في شكل هبة انفجارية من تحت سدادة اللافا المتصلبة في قاع فوهته. وتكون السحابة شديدة الحرارة، تجري بسرعة كبيرة تصل إلى نحو كيلو مترين في الدقيقة، وتحمل معها كميات هائلة من الحطام الصخري، يبلغ قطر بعض مكوناته بضعة أمتار. ويترسب كل الحطام الصخري دفعة واحدة بلا تناسق أوانتظام، وتبدو السحابة في شكل ستار ضخم من الدخان يحجب وراءه المميزات الرئيسية لطبيعة انبثاق المواد.

٣ - نوع فيزوف **Vesuvian Type**:

تتميز لافا هذا النوع من البراكين باحتوائها على كمية كبيرة نسبياً من السيليكا، ولهذا فإنها تكون لزجة بدرجة قد تعمل على انسداد قمة العنق البركاني إلى الفوهة، ويترتب على هذا أن تتجمع الغازات والأبخرة في أعماق قشرة الأرض. وهذا هو السبب عادة في حدوث انفجارات عنيفة تقذف كميات ضخمة من الرماد البركاني والحطام الصخري والقذائف في الهواء. وبسبب لزوجة اللافا نجد أن القذائف لا تلتوي، وحينما تسقط على الأرض

فإنها تنبسط في هيئة أقراص مفرطحة. كما أن تدفقات اللافا لا تنتشر في مساحات واسعة، وحين تتصلب تتخذ شكل الجلاميد الخشنة غير منتظمة الهيئة. ويشمل هذا النوع براكين شبه جزيرة كمتشاتكا Kamchatka، وبركان إتنا Etna في جزيرة صقلية، وبركان فولكانو Vulcano في أقصى جنوب جزر ليباري Libari في البحر المتوسط، وبركان فيزوف في إيطاليا.

ويعتبر بركان فيزوف مثالاً طيباً لهذا النوع من البراكين الذي فيه يمكن أن يتباين البركان الواحد تبايناً عظيماً في كثافته وفي طبيعة نشاطه.

يقع بركان فيزوف في مكان يحتله بركان قديم يسمى بركان «سوما» Somma، كان يعرفه الرومان على أنه بركان خامد. وفي عام ٧٩ ميلادية نشط البركان وثار محدثاً انفجارات عنيفة أدت إلى تخريب مدينتي هرقليا Herculaneum وبمباي Pompeii، وكانتا تقعان على جوانبه المواجهة للبحر. وقد أطاحت الانفجارات بقمة البركان القديم وبكثير من جسم مخروطه أيضاً، وبدأ فيزوف ينشأ ويتكون على انقاض المخروط المتداعي القديم، حتى صار ارتفاعه الآن نحو ١٢٠٠ متر. وما زالت بقايا البركان القديم تحيط ببعض جوانب فيزوف في هيئة حافة هلالية الشكل. وبركان فيزوف في حالة نشاط مستمر، ولكنه نشاط هادىء معتدل تتخلله بعض الثورانات العنيفة في فترات متقطعة غير منتظمة. وقد ثار ثلاث مرات بشدة وعنف وذلك في أعوام ٧٩م و١٦٣١م و١٩٠٦م. وقد أمكن التعرف على ثلاث مراحل من نشاطه أثناء ثورانه في عام ١٩٠٦.

في المرحلة الأولى التي دامت أربعة أيام كانت تخرج منه كميات هائلة من اللافا في تدفقات عظيمة، خاصة من خلال شقوق وفوالق كانت تتفتح

على جوانب مخروطه من اعلى إلى أسفل على التوالي. وفي خلال تلك المرحلة أيضاً حدثت انفجارات شديدة قذفت بكميات عظيمة من اللافا مئات الأمتار في الهواء.

وفي المرحلة الثانية أخذ البركان ينفث كميات هائلة من الغازات التي كانت تنبثق من تحت ضغط شديد، وترتفع في الجو في شكل هبة مستمرة تنطلق بسرعة عظيمة إلى ارتفاع بلغ نحو ١٣ كيلومترا، ثم أخذت تنتشر في هيئة سحب تشبه في شكلها القنبيط. وقد استمرت تلك الهبة دائبة طوال نهار ٨ ابريل. واتسعت فوهة البركان نتيجة لانبثاق تلك الغازات بكميات كبيرة.

أما المرحلة الثالثة فقد اتسمت بخروج رماد بركاني داكن في هيئة انفجارات منفردة ولكنها كانت قوية.

وقد دام الثوران بجميع مراحله ١٨ يوماً، وفي نهايته أصبحت سعة الفوهة عند قمتها نحو ٦٦٠ مترا، كما بلغ عمقها نحو ٦٠٠ متر.

٤ - نوع استرومبولي Strombolian Type:

ويمثل هذا النوع بركان استرومبولي في البحر المتوسط. وهو يخرج لافا بازلتية سائلة كبراكين هاواي، ولكنه يختلف عنها في أنه ينفث كميات كبيرة من الغازات، كما يقذف رماداً وقذائف. وكثيراً ما تلتوي القذائف في الجو. وتتميز اللافا التي تتدفق من هذا النوع من البراكين بتموج سطحها مثلها في ذلك مثل لافا براكين هاواي.

٥- نوع بنداي Bandai Type:

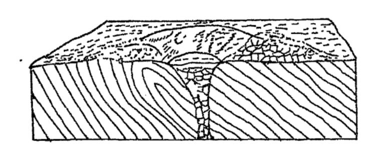
تتميز ثورانات هذا النوع من البراكين بحدوث هزات أرضية عنيفة وانفجارات شديدة، واندفاع كميات عظيمة من الغازات والرماد البركاني. ومن أمثلة هذا النوع من البراكين بركان بانداي، وبركان كراكاتاو Krakatau، وبركان كاتماي Katmai. وقد لا يصحب ثوران هذه البراكين خروج اللافا، ويرجع السبب في ذلك إلى أن الصهير الذي يغذيها يكون في درجة عالية من الحامضية (يحتوي على نسبة كبيرة من السيليكا) ومن ثم يكون عظيم اللزوجة.

٦- نوع الحفر الانفجارية أو الأعناق البركانية:

Explosion pits or Volcanic pipes

ينشأ هذا النوع من البراكين نتيجة لانفجارات غازية عنيفة منفردة دون أن يصحبها خروج لافا. وهي تتركب من أعناق نهاياتها بيضاوية الشكل، وفوهات عبارة عن تجاويف تشبه الكأس أو القمع في هيئتها، تتميز جوانبها بانحدارهين، ويبلغ قطرها بضع عشرات من الأمتار، وقد يصل إلى نحو ثلاثة أو أربعة كيلو مترات. وتقع قيعان الفوهات دون منسوب الأرض المحيطة بها. ويحيط ببعض فوهات هذه البراكين حاجز من الحطام البركاني والتوفا البركانية التي تختلط بحطام الصخور القارية التي اخترقها الانفجار وفجرها (شكل ٤٦). وتسمى هذه البراكين أحياناً باسم البراكين الأجنة Embryonic.

وتمتلىء الفوهات بالمياه في الجهات المطيرة وتكون بحيرات (مار Maar).

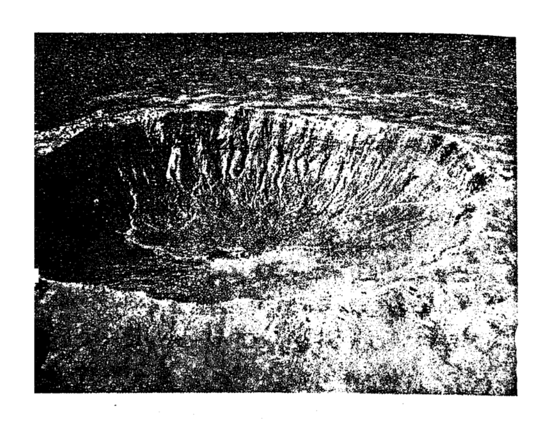


شكل (٤٦) حفرة انفجارية تحتلها بحيرة
يلاحظ أن الحطام الصخري حول الفوهة يتركب من الصخر الأساسي الذي اخترقته القناة البركانية.

وكثيراً ما تكتسح عوامل التعرية معظم تكويناتها فتظهر أعناقها (أنابيب الانفجار) على سطح الأرض.

وتتمثل هذه البراكين خير تمثيل في ألمانيا إلى الغرب من نهر الراين. فهناك نجد ما يقرب من ١٣٠ منها في هضبة أيفل Eifel ؛ وتوجد أيضاً في جنوب افريقيا في مرتفعات كيمبرلي Kimberley ممثلة في أنابيب تحتوي تكويناتها على معدن الماس. ويوجد مثل هذه الأنابيب الأخيرة في الاتحاد السوفيتي في ياكوتيا Yakutia .

وفي ولاية أريزونا Arizona بالولايات المتحدة الأمريكية توجد حفرة شبيهة بهذه الحفر الانفجارية، يبلغ قطرها نحو ١٢٠٠ متر وعمقها حوالى ١٥٠ مترا. وقد عثر فيها وحولها على حديد كوني Meteoritic iorn نشأ عن تساقط مواد النيازك المحترقة. وقد اتخذ هذا دليلاً على أن الحفرة لم تنشأ بفعل انفجار بركاني، إذ يعتقد أنها تكونت نتيجة لاصطدام كتلة ضخمة من نيزك محترق بالأرض في ذات الموقع، وما تولد عن ذلك من انفجار سببته الحرارة الناشئة عن الاصطدام. ولهذا تسمى هذه الحفرة بالفوهة الكونية Meteor Crater .



شكل (٤٧) فوهة أريزونا الكونية.

براكين الكسور Fissure Volcanoes :

للبراكين التي سبق أن وصفناها مراكز تغذية محدودة ومعلومة، ولهذا تسمى بالبراكين المركزية Central Volcanoes . وعلى النقيض منها نجد براكين الكسور التي تخرج الغازات واللافا لا من خلال فوهة مركزية ولكن من خلال كسور تكتونية، ولقد تبدو براكين الكسور في بعض الأماكن بمظهر التلال البركانية التي تتغذى من فرن صهير عام مشترك. ونجد أمثلة هذه البراكين في جزيرة أيسلندا. ولقد تمتد الكسور إلى نحو ٤٠ كيلومتراً، وتطفح كميات هائلة من اللافا التي تغطي مساحات عظيمة على جوانبها. وكثيراً ما نجد على طول الكسور صفوفاً من التلال البركانية.

ولا يتخذ كثير من براكين الكسور الشكل المخروطي، وإنما تتوزع اللافا التي تطفحها وتنتشر على سطح الأرض في شكل أشرطة عظيمة الاتساع والطول. وتختلف أشرطة اللافا Lava Sheets هذه عن مجاري اللافا Lava Streams المنبثقة من البراكين المركزية، فالأخيرة لا يزيد اتساعها عن كيلومتر واحد عند قاعدة البركان، كما أن سمكها لا يزيد على ١٠٠ متر، وطولها يتراوح بين ١٥ و٢٠ كيلومترا، وقد يزيد على ذلك في بعض الأحيان. أما أشرطة اللافا فكثيراً ما تفيض وتغطي مساحات هائلة. فأشرطة اللافا التي انبثقت من براكين الكسور القديمة تغطى مساحات تبلغ مئات الآلاف من الكيلو مترات المربعة كما في هضبة أرمينيا وهضبة الدكن Deccan في الهند، وفي هضاب أخرى بأمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.

هذا ويسود وجود البراكين المركزية في الوقت الحاضر. أما براكين الكسور والثوزانات البركانية الفسيحة (على نطاق واسع) فقد سادت أثناء العصور الجيولوجية السحيقة في القدم، حينما كانت قشرة الأرض أرق وأقل سمكاً منها في العصر الحالي.

وحينما تتدفق اللافا على سطح الأرض فإنها تكون مجاري وأشرطة وقباب، ويتصلب الجزء السطحي منها مكوناً لقشرة رديئة التوصيل للحرارة، ولهذا فإن اللافا تستمر في تدفقها من تحت هذه القشرة المتصلبة لعدة أيام بعد حدوث الثوران؛ وهذا هو السبب في تكوين الكثير من التجاويف Hollows في مجاري وأشرطة اللافا، وبعض هذه التجاويف يكون كبيراً جداً. فعلى منحدرات جبل شاستا Mount Shàstà البركاني في كاليفورنيا، يوجد تجويف يبلغ ارتفاعه بين ٢٠ و٢٥ متراً. واتساعه بين ٦ و٢٠ متراً، وطوله أكثر من ١٥٠٠ متر، ويبلغ سمك سقفه بين ٣,٠ و٢٠ متراً.

ويوجد بالاتحاد السوفييتي تجاويف في أشرطة اللافا حول بحيرة سيفان Sevàn في أرمينيا. وتستخدم التجاويف الجافة كثيراً كحظائر للماشية.

نتاج البراكين:

يخرج من البراكين حين ثورانها حطام صخري صلب وغازات ومواد سائلة.

١ - الحطام الصخري:

ينبثق نتيجة للانفجارات البركانية حطام صخري مختلف الأنواع والأحجام عادة في الفترة الأولى من الثوران البركاني. ويشتق الحطام الصخري من القشرة المتصلبة التي تتركب من اللافا القديمة المتخلفة من ثورانات سابقة، ومن المواد الصخرية التي تنتزع من جدران العنق نتيجة لدفع اللافا والمواد الغازية المنطلقة من الصهير بقوة وعنف. ويتركب الحطام الصخري من مواد تختلف في أحجامها فمنها الكتل الصخرية، والقذائف والجمرات والرمل والغبار البركاني.

أما الكتل الصخرية **blocks** فتخرج من البركان في هيئة كتل صلبة يزيد قطرها عن ٣٢ ملليمترا، وهي كتل غير منتظمة الشكل حادة الحواف، وقد تكون كبيرة الحجم يصل قطرها إلى بضعة أمتار، وتستطيع قوة الانفجار أن تقذف بها في الجو إلى ارتفاع مئات الأمتار.

ويخرج من البركان أيضاً حين ثورانه ما يسمى بالقذائف Bombs البركانية، وهي تشبه الكتل الصخرية في حجمها ولكنها تختلف عنها في




شكل (٤٨) قذائف بركانية.

شكلها المستدير أو البيضاوي، كما أنها تنطلق من البركان في هيئة سائلة إلى ارتفاع مئات من الأمتار وتدور حول نفسها فتتخذ الشكل الحلزوني أو المغزلي، وقد تستعيد شكلها الأصلي قبل أن تتساقط على الأرض (شكل ٤٨).

وتسمى القطع الصخرية التي يتراوح قطرها بين ٣٢ مم و٤ مم **بالجمرات أو الأحجار الصغيرة Lapilli** (كلمة لاتينية).

أما الغبار البركاني Ash فمنه الخشن الحبيبات (تتراوح أقطارها بين ٤ مم و٠,٢٥ مم) الذي يسمى بالغبار الخشن أو الرمل البركاني ومنه الدقيق الحبيبات (أقطارها أقل من ٠,٢٥ مم) الذي يسمى بالغبار الناعم.

وينبثق من البراكين أثناء ثوراتها كميات هائلة من الغبار البركاني، فحين ثار بركان كاتماي Katmai في ألاسكا عام ١٩١٢ أخرج كميات من الغبار ترسبت وغطت المنطقة المحيطة بالبركان بسمك بلغ أكثر من أربعة

متار، كما غطت مساحة من الأرض المحيطة بلغت نحو ١٠٠ كم^{2} بسمك وصل إلى ١٠ سم. وقد قذف البركان نحو ٢٠ كيلومترا مكعبا من الحطام الصخري. وقد تغلف جو المنطقة بالظلام نحو ٦٠ ساعة. وتساقط المطر من السحب البركانية لمدة ٢٥ ساعة متواصلة.

وقد تستدق حبيبات الغبار أحياناً لدرجة أن الانفجار الغازي يستطيع رفعه إلى نحو عشرة كيلو مترات في الجو، حيث تلتقطه التيارات الهوائية وتحمله لفترة طويلة في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي، فحين ثار بركان كراكاتاو Krakatau في قلب مضيق سوندا Sunda في عام ١٨٨٣، قذف بكميات عظيمة من الغبار ظلت تسبح في الجو أكثر من عام كامل.

وحينما تتساقط الأمطار حين انبثاق الغبار البركاني، تنشأ كتل من الطين السائل، تندفع على منحدرات البركان بسرعة وتكتسح كل ما يصادفها فتسبب خسائر عظيمة في مناطق العمران القريبة من البركان.

وعادة تخرج الكتل الصخرية والقذائف والجمرات والغبار في شيء من التناسق والانتظام، ولكنها أحياناً تندفع في هيئة انفجارات عملاقة فتحطم فوهة البركان، وقد تقذف بالمخروط كله في الجو تاركاً مكانه حفرة عميقة متسعة. وتترسب مواد الغبار والرمل البركاني حول البركان مكونة لكتلة مفككة، لا تلبث أن تندمج بالتدريج نتيجة لثقل الرواسب المتراكمة فوق بعضها، ولفعل المياه مكونة لصخر **التوفا البركانية**، أما الغبار والرمال البركانية التي تتساقط فوق البحيرات والبحار فإنها تترسب في القاع حيث تختلط بالمواد الطينية والرملية مكونة لصخر بركاني رسوبي يسمى **توفيت** **Tuffite**.

٢ - الغازات:

تخرج من البراكين أثناء نشاطها غازات أهمها بخار الماء الذي ينبثق بكميات عظيمة مكوناً لسحب هائلة يختلط فيها الغبار والغازات الأخرى. ويتكاثف هذه الأبخرة مسببة لأمطار غزيرة تتساقط في محيط البركان. ويصاحب الانفجارات وسقوط الأمطار حدوث أضواء كهربائية تنشأ من احتكاك حبيبات الرماد البركاني ببعضها، ونتيجة للاضطربات الجوية.

وقد تتباين أنواع الغازات من بركان لآخر ومن مرحلة لأخرى من مراحل ثوران البركان الواحد. وعدا الأبخرة المائية الشديدة الحرارة ينفث البركان غازات متعددة أهمها الايدروجين والكلورين والكبريت والنيتروجين والكربون والاوكسجين، وأحياناً ثاني أوكسيد الكربون والميثان، هذا عدا حامض الايدروكلوريك وحامض الايدروفلوريك وثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الايدروجين والأمونيا وكلوريد الأمونيوم وكربونات الأمونيوم التي تنفثها كثير من البراكين.

وتخرج كثير من البراكين ومنها البراكين الإيطالية كميات عظيمة من الكلوريداث أثناء ثوراناتها، وقد أدى هذا إلى نشوء الرأي الذي يقول بأن الثوران البركاني إنما ينشأ بسبب رشح مياه البحر الغنية بالكلوريدات ونفاذها إلى كتل الصهير في الأعماق. وإذا جاز هذا بالنسبة للبراكين الإيطالية فإنه قد لا يجوز بالنسبة لبراكين أخرى، بحيث لا نستطيع اتخاذه كقاعدة عامة للثوران البركاني، فبركان كيلويا **Kilauea** في جزيرة هاواي لا ينفث أثناء ثورانه شيئاً من الكلوريدات إطلاقاً.

وعدا ما تخرجه البراكين من فوهاتها من غازات وأبخرة في شكل نفثات متتالية؛ تتطاير الغازات والأبخرة أيضاً من اللافا السائلة المتدفقة حينما

تأخذ في البرودة التدريجية، ويستمر تطايرها منها عدة أسابيع وأحياناً عدة أشهر إلى أن تتصلب كتل اللافا تماماً.

مصادر الغازات:

يعتبر بخار الماء الغاز الرئيسي الذي ينبثق من كتل الصهير. وتبلغ نسبته نحو ٩٥٪ من المجموع الكلي للغازات،وقد تزيد عن ذلك. ويحتمل أن الماء كان جزء من المواد الأصلية التي كونت الأرض، تداخل في تكويناتها أثناء نشأتها بفترة قصيرة، وقد ترجع نشأته إلى اتحاد عنصري الأيدوجين والأكسوجين من الجو أو من غيره، أو إلى ماء مطر تشربته كتل الصهير من الصخور المحيطة بها. وقد يكون وصوله إلى الصهير قد حدث نتيجة لصهر الصخور التي تحتوي معادنها على الماء. ولم يستطع أحد من الباحثين حتى الآن تقدير المياه التي يمكن أن تشتق من أي من تلك المصادر السالفة الذكر.

ويعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من أهم الغازات التي تنفثها البراكين. وينشأ في الصهير نتيجة لصهر كميات من الصخور الجيرية. وحين تمتص كتل الصهير كميات كبيرة من هذا الصخر فإنها تتشبع بقدر عظيم من ثاني أكسيد الكربون. فتتولد من ذلك ضغوط عظيمة تنشأ عنها الثورانات البركانية.

أما الغازات السريعة الالتهاب كالأيدروجين والكبريت وأول أوكسيد الكربون فيبدو أنها تمثل قسماً أو مكوناً أصيلاً لمواد الصهير ذاتها. وينشأ عن اشتعال تلك الغازات خاصة غاز الايدروجين ذلك اللهيب الذي يُرى أثناء الثوران البركاني.

٣ - اللافا :

هي كتل سائلة تلفظها البراكين، وتختلف عن الصهير في أنها تفقد ما تحويه من الغازات والأبخرة حين تنساب على سطح الأرض. وتبلغ درجة حرارتها عادة بين ١٠٠٠°م و ١٢٠٠°م.

وتنبثق اللافا من فوهة البركان، كما تطفح من خلال الشقوق والفوالق في جوانب المخروط البركاني الضعيف البنيان التي تنشئها الانفجارات وضغط كتل الصهير. وقد يحدث أن ينهار جانب من المخروط كلية، فتندفع اللافا من الفتحة التي أحدثها الانهيار. ويحدث ذلك حينما تتألف مواد المخروط من القذائف المفككة التي لا تقوى على مقاومة ضغوط كتل الصهير.

وتتوقف طبيعة اللافا ومظهرها وكذلك طبيعة الصخر الذي ينشأ عنها بعد تصلبها على عدة أمور منها التركيب الكيماوي لكتل الصهير الذي تنبعث منه اللافا، فقد يحتوي على نسبة كبيرة من أكسيد السيليكون فينشأ عنه ما يعرف باللافا الحامضية الفاتحة اللون التي تتصلب مكونة لصخر فاتح اللون هو الرايوليت Rhyolite . وتتميز هذه اللافا بعظم لزوجتها ومن ثم تتصلب في هيئة كتلية إذ أنها بطيئة التدفق. وقد يحتوي الصهير على كمية متوسطة من أكسيد السيليكون ومن ثم تخرج منه اللافا بلون فاتح نوعاً، وتتصلب مكونة لصخر لونه بين الفاتح والداكن، وهو صخر الأنديزيت. أما اللافا البازلتية فتخرج من صهير قاعدي، لذا تتميز بالسيولة فتنساب في مساحة كبيرة. وحين تتصلب تكون صخر البازلت الأسود اللون. وأعظم أنواع اللافا سيولة وتدفقاً هي اللافا فوق القاعدية.

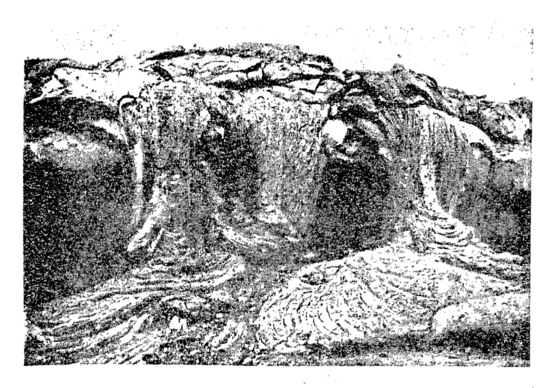
وتتميز اللافا الحامضية بخفتها وألوانها الفاتحة (رمادية أو محمرة) كما أنها

لزجة غنية بالغازات وتبرد ببطء. أما اللافا القاعدية فهي داكنة اللون (رمادية داكنة أو خضراء أو سوداء)، سائلة وتحتوي على نسبة قليلة من الغازات.

وتعتبر كتل اللافا التي انبثقت من بركان بيلي Pelee في عام ١٩٠٢ مثالاً لنوع اللافا الحامضية اللزجة. فقد كانت كثيفة لزجة لدرجة أنها لم تقو على التحرك، وأخذت تتراكم وترتفع مكوّنةً لبرج فوق الفوهة. وقد بلغ ارتفاع هذا البرج نحو ٣٠٠ متر، ثم ما لبث بعد ذلك أن تكسر وتحطم حينما بردت اللافا، نتيجة للانفجارات التي أحدثها خروج الغازات. وقد تحتفظ اللافا الحامضية بشكل قبابي فوق فوهة البركان دون أن تتحطم، ومثلها قباب «لاسين» Lassen الثلاث عشرة في المنتزه الوطني بالولايات المتحدة الأمريكية Lassen Volcanic National Park.

وتختلف لافا براكين هاواي عن لافا بركان «بيلي» كل الاختلاف سواء في خصائصها وفي تركيبها الكيماوي. فهي لافا من النوع البازلتي الغني بالمركبات الحديدية والجنيسية والفقير في نسبة السيليكا. وهي سائلة ومتحركة لدرجة كبيرة، وتنساب في شكل مجاري على منحدرات البركان، وحينما تقابل منحدراً شديداً تندفع عليه في هيئة المساقط المائية. وحينما تتصلب تبدو في هيئة مفتولة Corded Lava (شكل ٤٩). وتتحرك هذه اللافا بسرعة خاصة فوق المنحدرات الشديدة، ففي أثناء ثوران بركان «مونالوا» في عام ١٩٥٠ كان سيل اللافا يتدفق بسرعة ١٦ كيلومترا في الساعة. وحين تبرد اللافا تزداد لزوجتها ومن ثم تبطىء في حركتها، وقد تظل متحركة ببطء شديد لعدة أشهر.

وتخرج اللافا أثناء تصلبها ما تحويه من الغازات التي تبدو فوق سطحها



شكل (٤٩) مسقط من اللافا البازلتية في هاواي. وقد تصلب صهير البازلت في شكل لافا مفتولة.

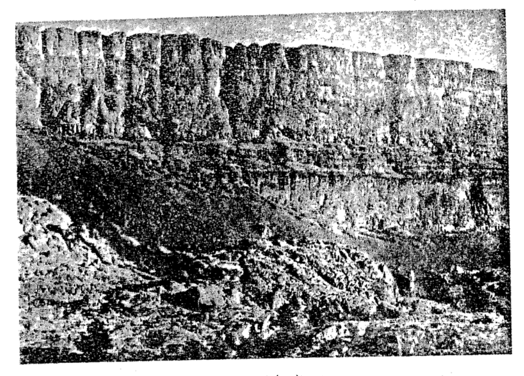
في شكل فقاقيع غازية لا حصر لها، تبدو كالزبد الذي حين يبرد ويتصلب يكون صخر الخفان (بوميس **Pumice**) الفاتح اللون أو الأبيض. وهو ينشأ على سطح اللافا الحامضية. وينشأ عن تصلب الفقاقيع الغازية الكبيرة غير المنتظمة فوق سطح اللافا القاعدية ما يسمى **بالزبد الصخري** Scoriae وهو عادة داكن اللون أو أسود وقد يكون محمراً.

غطاءات اللافا الفسيحة:

لقد بدأ تدفق اللافا منذ بداية الأزمنة الجيولوجية. وكان تدفقها من خلال شقوق عميقة في قشرة الأرض (أنظر براكين الكسور)، وسالت على وجه الأرض مكونة لسهول فسيحة أو هضاب عظيمة تتركب من غطاءات أفقية من المواد البازلتية تتداخل فيها بعض طبقات من التوفا البركانية.

ومن بين هضاب اللافا البازلتية الفسيحة حقل اللافا الضخم في هضبة كولومبيا في ولاية واشنجتون وامتدادته في ولايتي أوريجون وأيداهو، وتبلغ مساحته ٤٢٠,٠٠٠ كيلومتر مربع. وحيث استطاعت الأنهار أن تشق لها مجاري في ذلك الحقل الفسيح- كما هي الحال في خوانق أنهار كولومبيا وسنيك Snake - وجد أن سمك طبقات اللافا يبلغ نحو ١٢٠٠ متر (شكل ٥٠).

وتغطى اللافا البازلتية مساحة من هضبة الدكن بالهند تقدر بنحو



شكل (٥٠) لافا بازلتية

توضح الصورة طبقات اللافا الأفقية التي تراكمت فوق بعضها، يبلغ ارتفاع الحافة نحو ٦٠٠ متر في خانق نهر كولومبيا قرب ترينيداد بولاية واشنجتون.

٥٠٠,٠٠٠ كيلومتر مربع في الوقت الحاضر. هذه المساحة ما هي في الواقع إلا بقايا لغطاء بازلتي عظيم كان يمتد في شكل هضبة متصلة بلغت مساحتها

٨٠٠٠٠٠ كيلومتر مربع، وقد استطاعت عوامل التعرية أن تكتسح قسماً كبيراً منها في أثناء الخمسين مليون سنة الأخيرة. ويصل سمك اللافا في بعض المناطق إلى نحو ثلاثة كيلو مترات، أما سمك طبقة اللافا الواحدة فيبلغ نحو خمسة أمتار.

ويبدو أن كتل الصهير التي تدفقت على وجه الأرض كانت في حالة متناهية من السيولة، فاستطاعت أن تفيض على سطح مستوى تقريباً، وتمتد لعدة كيلو مترات قبل أن تتصلب، يدل على ذلك وضع أشرطة اللافا التي تبدو في شكل طبقات أفقية، كما يدل عليه أيضاً رقة تلك الطبقات التي يبلغ سمك كل منها نحو ٥ أمتار في هضبة الدكن، وبين ٦ أمتار و١٢ مترا على جانبي خانق نهر كولومبيا.

وعلى الرغم من أن البازلت هو الصخر الرئيسي الذي نشأ عن تدفقات اللافا من خلال طفوح واسعة النطاق، فإننا نجد أن صخر الرايوليت الفاتح اللون الذي يكون هضبة الرايوليت في الـ Yellow-stone قد نشأ على ما يبدو من تدفقات طفحية على نطاق واسع أيضاً.

أصل الصهير مصدر اللافا:

يعتبر أصل الصهير ومنشأه من بين المسائل المعقدة التي تختص بطبيعة جوف قشرة الأرض. فالبراكين تخرج أنواعاً متباينة من اللافا، إذ نجد بركان فيزوف يلفظ نوعاً من اللافا يختلف عن النوع الذي يفيض من بركان إتنا Etna. وأغرب من ذلك أن البراكين المتجاورة قد تخرج أنواعاً مختلفة من اللافا، فبركان استرومبولي وبركان فولكانو Volcano يقعان في جزر ليباري، ومع هذا نجد الأول يقذف لافا بازلتية بينما يخرج الثاني لافا

رايوليتية فاتحة اللون، وهما نوعان من اللافا مختلفان في التركيب على غير ما يمكن أن نتوقع.

وعلاوة على هذا نجد أن طبيعة اللافا التي تنبثق من البركان الواحد قد تتغير على مر الزمن. وهنا ينبغي لنا أن نتساءل، هل يستمد البركان طفوح اللافا من أفران صهير متباينة تحتوي على تلك الأنواع المختلفة من اللافا؟ إن الاعتقاد السائد هو أن البركان يستمد طفوحه من فرن صهير واحد يحتوي على مواد متجانسة في الأصل ويقع تحت البركان، وأنه قد حدثت سلسلة من التغيرات الداخلية في فرن الصهير أدت إلى تباين أنواع اللافا التي يغذى بها البركان، وتعرف هذه العمليات التي يتم بواسطتها انفصال الصهير إلى أنواع بعمليات تصنيف أو تمايز الصهير Magmatic Differentiation ، وإلى عمليات التمايز هذه يعزى أيضاً التباين في أنواع الصخور والقصبات الصخرية والسدود الرأسية والأفقية. وهناك عمليات معقدة يتم بواسطتها تمايز كتل الصهير في داخل فرن الصهير لا مجال لشرحها هنا (أنظر شكل ٣٠).

وعلى الرغم من أن عمليات تمايز الصهير تساعد في تفسير التباين في نوع اللافا التي تنبثق من بركان معين، إلا أنها لا تفسر نشأة الصهير الأصلي المتجانس في تركيبه، وهو الصهير الذي اشتقت منه أنواع الصهير الأخرى المتباينة. ويعتقد الباحثون أن الصهير الأصلي يتركب في كل مكان من جوف قشرة الأرض من المواد البازلتية، ويستشهدون على ذلك بطفوح اللافا البازلتية التي تغطي مساحات هائلة من سطح الأرض، والتي انبثقت على فترات خلال الأزمنة والعصور الجيولوجية الطويلة. وهذا يدل على وجود مصدر وفير من الصهير البازلتي في الأعماق يعتقد أنه يمتد في هيئة

طبقة أو غلاف بازلتي مرن في كل مكان من الأرض أسفل القشرة السطحية.

كيف ينبثق الصهير إلى سطح الأرض:

يتفق توزيع سلاسل البراكين ونطاقات الزلازل مع نطاقات الحركة والاضطراب في قشرة الأرض كما رأينا وسنرى فيما بعد.

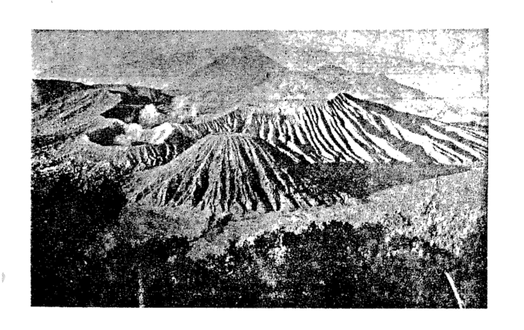
وهناك مثالان عمليان يذكران منذ عهد بعيد لتوضيح كيفية خروج الصهير وتدفقه على سطح الأرض. فقد أشار داتون Dutton عام ١٨٨٠ أن انبثاق الصهير يشبه إلى حد كبير ما يحدث عندما تفتح فجأة زجاجة من «الشمبانيا» الدافئة. وعلى هذا فإن طاقة الغازات المحتبسة تعتبر القوة الرئيسية لتفجير البراكين. ويبدو أن هذا التفسير ما يزال أفضل تفسير للثورانات البركانية التي تغذيها أفران صهير ضحلة.

أما المثال الثاني فيختص بما يحدث في بحيرة جليدية حينما يتشقق الجليد، فتنبثق المياه من تحت الجليد خلال الشقوق وتفيض على سطح الجليد، نتيجة لثقل الجليد وضغطه على المياه التي توجد أسفله. وقياساً على هذا فإن ثقل قشرة الأرض السطحية يضغط على كتل الصهير أسفلها فتنبثق خلال الكسور والشقوق إلى سطح الأرض. ويبدو هذا التفسير مناسباً للطفوح البركانية البازلتية من النمط الذي أعطينا له مثالاً ببراكين جزر هاواي التي تستمد مواردها من اللافا من الطبقة البازلتية المرنة التي توجد أسفل القشرة الصخرية السطحية، كما يبدو ملائماً أيضاً لتفسير الطفوح البازلتية الواسعة النطاق.

أشكال البراكين والفوهات:

١ - براكين الحطام الصخري Pyroclastic Cones:

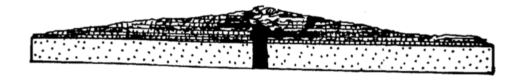
يختلف شكل المخروط البركاني باختلاف المواد التي يتركب منها. فإذا كان المخروط يتركب كلية من الحطام الصخري فإننا نجده مرتفعاً شديد الانحدار بالنسبة للمساحة التي تشغلها قاعدته. وهنا نجد أن درجة الانحدار تبلغ نحو ٣٠° وقد تصل أحياناً إلى نحو ٤٠° قبل أن تأخذ مواد الحطام الصخري في الانزلاق على المنحدرات. وتنشأ هذه الأشكال عادة نتيجة لانفجارات بركانية. وقد يتركب المخروط كلية من الجمرات ويعرف حينئذ «بمخروط الجمرات». ومثل هذه الأشكال عادة صغيرة الحجم لا يتعدى ارتفاعها ٢٠٠ متر (شكل ٥١).



شكل (٥١) مجموعة من مخروطات الجمرات النشطة في جزيرة جاوة باندونيسيا.

٢ - البراكين الهضبية Shield Volcanoes:

وقد نشأت نتيجة لخروج اللافا وتراكمها حول مخرج أو فوهة رئيسية. ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التي تشغلها قواعدها. وتبدو قممها أشبه بهضاب محدبة تحدُّباً هيناً، ومن هنا جاءت تسميتها بالبراكين الهضبية (شكل ٥٢). وقد نشأت هذه البراكين من تدفق مصهورات اللافا الشديدة الحرارة والعظيمة السيولة والتي انتشرت فرق مساحات واسعة في شكل أشرطة أو طبقات رقيقة تكاد تكون أفقية. وتتمثل هذه البراكين الهضبية أحسن تمثيل في براكين جزر هاواي. فبركان مونالوا الذي يبلغ ارتفاعه أكثر من ٤١٠٠ متر يبدو أشبه بقبة فسيحة تنحدر انحداراً سهلاً هيناً، إذ يبلغ انحدارها عند القمة نحو ١٠° ويتناقص تدريجياً إلى أن يصل إلى نحو درجتين عند القاعدة.



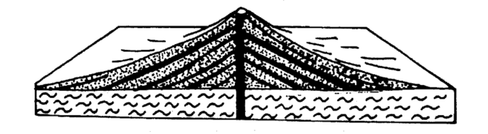
شكل (٥٢) قطاع في بركان هضبي عنق البركان والسدود الرأسية والأفقية مظللة باللون الأسود.

٣ - البراكين الطباقية Strato Volcanoes:

والبركان الطباقي نوع شائع الوجود، وهو في شكله وسط بين النمطين السابقين، وتتركب مخروطات هذه البراكين من مواد الحطام الصخري التي تتراكم حول الفوهة نتيجة النشاط البركاني الانفجاري، كما تتركب أيضاً من تدفقات اللافا التي يخرجها البركان حين يهدأ ثورانه.

وتُكوِّن اللوافظ التي تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتابعة طبقات بعضها فوق بعض، ويتألف قسم منها من مواد خشنة وقسم آخر من مواد دقيقة، وبين هذا وذاك تتداخل اللافا في هيئة أشرطة قليلة السمك. ومن هذا ينشأ نوع من الطباقية في تركيب المخروط، بحيث تميل الطبقات من قمة المخروط نحو حضيضه (شكل ٥٣ وأنظر أيضاً شكل ٤٥). ولا تلبث مواد الطبقات أن تندمج وتلتحم ببعضها مكونة لصخور البريشيا البركانية التي تتألف من حطام صخري حاد الحواف، ولصخور التوفا البركانية التي تتركب من التكوينات الدقيقة كالرمال والغبار البركاني. وقد تفيض اللافا السائلة بعد ذلك لتغطي تكوينات المخروط، وحين تبرد وتتصلب تكون قشرة تحمي مواد المخروط من تأثير عوامل التعرية. وبسبب هذه الطباقية الواضحة الناشئة من تعاقب تراكم طبقات من التوفا وأخرى من البريشيا ومن اللافا، يسمى المخروط البركاني الذي يتميز بها بالمخروط الطباقي.

وتتدفق اللافا عادة من خلال شقوق في جوانب البركان، وهي حين تتصلب تكون سدوداً صخرية تعمل كدعائم تقوي بنيان المخروط البركاني.



شكل (٥٣) بركان طباقي، قطاع في بركان مايون. يوضح القطاع التركيب الطباقي الداخلي الذي يميل من العنق البركاني نحو القاعدة. ويشاهد التعاقب بين طبقات اللافا وطبقات الحطام الصخري

ويبدو المخروط البركاني الطباقي مقعراً تجاه قمته، ومنها ينحدر انحداراً شديداً نوعاً، ويصبح الانحدار سهلاً تجاه قاعدته، ويمثل هذا الشكل من البراكين بركان مايون Mayon أكثر براكين جزر الفيليبين نشاطاً في الوقت الحاضر. كما نجد له أمثلة عديدة أخرى في الولايات المتحدة في مرتفعات كاسكيد Cascade ومنها مخروط شاستا Shasta ومخروط هود Hood ومخروط آدمز Adams وغيرها.

٤ - البراكين المركبة Compound Volcanos:

تمثل الأشكال الثلاثة السابقة أنماطاً من البراكين بسيطة التركيب. وهناك العديد من البراكين المركبة المعقدة في تكوينها. ويعتبر بركان إتنا Etna في جزيرة صقلية مثالاً لنمط البراكين المركبة الكثيرة. فالكتلة الرئيسية من جرمه الضخم الذي يرتفع فوق سطح البحر بنحو ٢٣٠٠ متر تمثل بركاناً هضبياً. ويحيط بالفوهة الرئيسية عند قمة البركان مخروط بيروكلاستي يتكون من كتل صخرية كبيرة حادة الحواف انبثقت من الفوهة الرئيسية، ويبلغ ارتفاع هذا المخروط نحو ٣٠٠ متر، وهو صغير ضئيل بالنسبة لحجم بركان إتنا الضخم، وهذا المخروط مهم في حد ذاته لأنه يدل على أن البركان قد غير من طبيعة انفجاراته.

٥ - كالديرا Caldera:

كالديرا كلمة اسبانية معناها الدست أو الوعاء الكبير Caldron، وهي تستخدم للتعبير عن الفوهات البركانية الضخمة التي تبدو في شكل أحواض واسعة ضحلة في قمم البراكين. وقد اتخذ هذا الاسم من حفرة لا كالديرا La Caldera في جزر كاناريا التي يبلغ قطرها في أوسع جهاتها نحو ٦ كيلومتر،

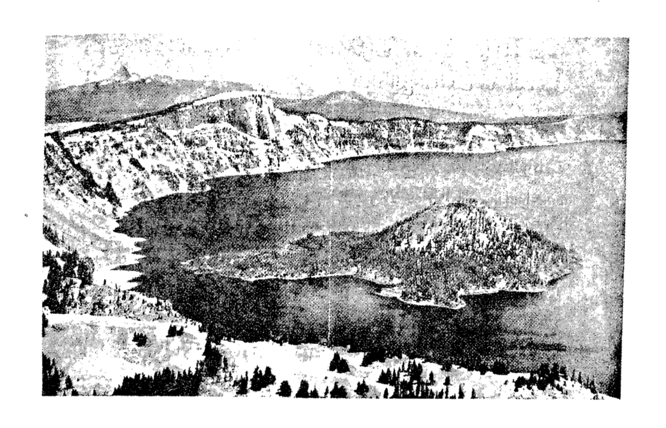
ويتراوح عمقها بين ٩٠٠ متر و١٦٥٠متراً. ويبدو الجبل الذي تشغل قمته تلك الحفرة من بعيد في شكل مخروط مقطع الجوانب مجدوع القمة.

وتشغل أحواض الكالديرا عديداً من فوهات براكين العالم، وقد تكون بعضها نتيجة لانفجارات بركانية عملاقة استطاعت تدمير قمم المخروطات البركانية القديمة فنشأت مكانها أحواض الكالديرا. ومن أمثلة تلك الانفجارات الانفجار العظيم الذي حدث في بركان تامبورو Tamboro في عام ١٨١٥، الذي استطاع أن يطيح بقسم كبير من قمة المخروط القديم وكون كالديرا يقرب قطرها من ٦ كيلو مترات. وقد تطاير في الجو نتيجة لهذا الانفجار نحو ٥٦ كيلومتر مكعب من المواد التي تساقطت بعد ذلك فوق مساحة قدرت بنحو ١٦٠٠٠٠٠ كيلو متر مربع.

ويبدو أن معظم الكالديرات لا تتكون نتيجة للانفجارات البركانية وحسب وإنما تنشأ أيضاً بسبب تداعي وتدهور الأجزاء العليا من البراكين، وتكون بقايا المخروط الممزق حواف الكالديرا. ومثلها الكالديرا التي تشغلها بحيرة في جنوب ولاية أوريجون بالولايات المتحدة، والتي تقع فوق قمة جبل بركاني في مرتفعات كاسكيد، ويبلغ طولها نحو عشرة كيلو مترات وعرضها حوالى ستة كيلومترات، أما عمقها فيصل إلى حوالى ٦٠٠ متر، ويحيط بها حافات شديدة الانحدار يتراوح ارتفاعها بين ١٥٠ م – ٦٠٠ متر. وتقع في البحيرة جزيرة صغيرة تسمى ويزداد Wizard تمثل قمة بركان صغير انفجر من قاع الكالديرا في فترة لاحقة لتكوينها شكل (٥٤).

ويعتقد أن الانفجارات البركانية قد شاركت في تكوين هذه الكالديرا فالبركان القديم الذي تمثل قمته الآن تلك الكالديرا ويعرف باسم مونت مازاما Mount Mazama كان في حجم زميله مونت شاستا، وقد غطاه

الجليد بسمك عظيم أثناء العصر الجليدي، ثم حدثت بعد ذلك انفجارات بركانية تداعى بسببها جزء من قمة البركان مكوناً لقسم من الكالديرا الحالية. وقد حدثت هذه الانفجارات منذ بضعة آلاف من السنين، أثناءها. تحطمت أجزاء أخرى من القمة بتأثير عوامل التعرية، ونشأ من هذا وذاك حوض الكالديرا الذي تشغله البحيرة الحالية.



شكل (٥٤)
كالديرا تشغلها بحيرة الفوهة في ولاية أوريجون. وتظهر بالبحيرة جزيرة ويزارد، وهي تمثل قمة بركان نشأ بعد تداعي مخروط البركان الرئيسي.

البراكين الحديثة:

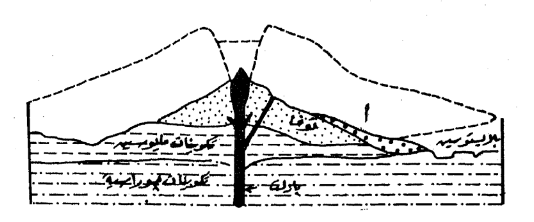
لا تحوي سجلات المعرفة الإنسانية ذكر كثير من البراكين الحديثة التي نشأت منذ ميلاد المسيح عليه السلام. وما يزال كثير من البراكين التي تأكد مولدها أثناء التاريخ الميلادي نشيطاً. ويعتبر بركان فيزوف الذي نشأ عام ٧٩ م مثالاً لتلك البراكين التاريخية، ولكنه يقع في موضع بركان قديم هو بركان سوما Somma. وقد ظهر بركان جورولو Jorullo في المكسيك في ٢٨ سبتمبر من عام ١٧٥٩ وبرز في وسط سهل زراعي. وهو يمثل أعلا أربعة مخروطات نشأت نتيجة لثورانات انفجارية في ذلك السهل، قذفت حطاماً صخرياً وسحباً بيلية، كما تدفقت سيول من اللافا، ويبلغ ارتفاعه نحو ٤٠٠ متر فوق مستوى الأرض المحيطة به.

أما بركان إيزالكو Iazlco الذي ولد في عام ١٧٧٠، فقد استمر نشيطاً - وما يزال - إلى أن بنى مخروطاً يبلغ ارتفاعه نحو ٨٠٠ متر فوق مستوى قاعدته. وعلى الرغم من قصر عمره فقد أخرج من اللافا كميات كبيرة تفوق ما أخرجه منها أي بركان آخر في أمريكا الوسطى، وهو يعتبر من أنشط براكين العالم. ومن أحدث البراكين بركان شينييرا Chinyera في جزيرة تينيريف Teneriffe إحدى جزر كاناريا في المحيط الأطلسي، فقد ظهر في الوجود عام ١٩٠٩، وهو البركان المعروف بأنه الوحيد الذي شاهدت العين مولده.

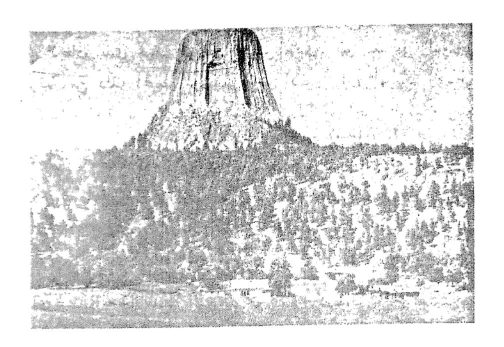
هذا وينبغي أن نشير إلى أن كل هذه البراكين قد نشأت في مناطق بركانية، ولم يتكون أحد منها في منطقة لم يصبها النشاط البركاني من قبل.

تعرية المخروطات البركانية:

يتعرض البركان بعد ظهوره على سطح الأرض للتجوية وعوامل التعرية التي تعمل على تآكله. ويتوقف ارتفاع المخروط ومظهره العام على التوازن بين قوى التعرية الهدامة والقوى البركانية البناءة. وتتمثل في البراكين- حتى النشيط النامي منها- آثار فعل التعرية من خوانق وأودية عميقة وحفر.. فما يكاد البركان يظهر في الوجود حتى تتناوله عوامل التعرية بالنحت والهدم، فتبدأ باكتساح التوفا والبريشيا، ثم بنحت السدود الصخرية التي تظهر من تحتها. وهكذا تفعل عوامل التعرية بالمخروط البركاني حتى تزيله وتصل إلى الأساس الصخري الذي كان يرتكز عليه، ولا يبقى منه سوى العنق البركاني- نظراً لشدة مقاومته للتعرية- بارزاً كنصب تذكاري للبركان الذي اندثر. وقد تزيل التعرية العنق أيضاً وحينئذ تطمس معالم البركان نهائياً، ولا يبقى منه شاهد لوجوده في يوم ما.



شكل (٥٥) مخلفات مخروط بركاني في منطقة هيجاو Hegau في جنوب ألمانيا. الخط المتقطع يوضح المخروط البركاني الأصلي قبل أن تكتسح التعرية قسماً عظيماً منه.



شكل رقم (٥٦): برج الشيطان Devil's Tower في ولاية «وايومينج» بالولايات المتحدة الأمريكية. وهو عنق بركاني يتركب من البازلت العمداني البناء. وقد أزالت التعرية تكوينات المخروط البركاني.

وتتمثل مراحل التآكل هذه في كثير من براكين العالم. فهناك من المخروطات ما لم يتأثر بعد تأثراً بيناً بالتعرية، ومنها ما تهدم وتداعي ولم يبق منه سوى العنق أو بعضه (شكل ٥٥ وشكل ٥٦).

التوزيع الجغرافي للبراكين:

يبلغ عدد البراكين النشيطة في الوقت الحاضر حوالى ٤٧٦ بركانا،أما البراكين الأخرى بين خامد dormant وساكن extinct فيقدر عددها بنحو أربعة آلاف. ونقصد بالبركان الخامد، ذلك الذي توقف نشاطه منذ زمن بعيد فتآكل ونحت إلى حد كبير، أما البركان الساكن فهو الذي توقف نشاطه منذ فترة قصيرة فلم تؤثر فيه عوامل التعرية إلا قليلاً.

وتنتشر البراكين في شكل نطاقات طويلة على سطح الأرض، أظهرها ذلك النطاق الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي. فهو يمتد على السواحل الشرقية من ذلك المحيط فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلى جزر ألوشيان ومنها إلى سواحل شرقي قارة آسيا عبر شبه جزيرة كمشاتكا إلى جزر اليابان وجزر الفيليبين، ثم إلى جزر اندونيسيا ونيوزيلندا (شكل ٤١). ويوجد الكثير من البراكين في المحيط الهادي نفسه، منها الساكن والخامد ومنها ما لا يزال نشيطاً. وتمتد البراكين هنا على طول خطوط مستقيمة فوق حافات بحرية غائصة ترتكز على قاع المحيط العميق. ومن أمثلة تلك الحافات حافة هاواي Hawaiian Ridge التي تمتد نحو ٢٩٠٠ كلم والتي تزخر بعديد من البراكين الضخمة، بعضها نشيط وبعضها ساكن. ويستدل من ترتيب توزيع البراكين على طول خطوط على أنها- كقاعدة عامة- تنتشر على طول نطاقات الضعف في قشرة الأرض أو قربها، حيث توجد الانكسارات والفوالق وسلاسل الالتوات الحديثة. ومع هذا فقد ينشأ البركان أو مجموعة البراكين في مكان دون ارتباط بخطوط انكسارات أو محاور التواءات. ومثال ذلك مجموعة براكين « هاي وود » Highwood الساكنة التي تقع في سهل فسيح في ولاية مونتانا بأمريكا الشمالية. فهي لا تنتظم في شكل أفقي مستقيم، كما أن الأساس الصخري الذي ترتكز عليه لا تظهر به كسور أو فوالق، مما يدل على أن القوى البركانية تكون من الشدة بحيث تستطيع أن تفجر لها مخارج في قشرة الأرض دون حاجة إلى وجود عيوب وانكسارات. هذا وتخلو قارة استراليا من البراكين، وإذا ما أخرجنا جزيرة صقلية وجزر ليباري من نطاق اليابس الأوربي، فإننا نجد أن قارة أوربا لا تحوي من البراكين النشطة سوى بركان فيزوف. وتوجد مجموعة من البراكين في افريقيا أشهرها كيليمانجارو وارتفاعه ٥٨٦٠ مترا. وفي آسيا يتركز النشاط

البركاني في كمشاتكا، كما توجد مجموعة من البراكين الساكنة في منشوريا. وفي مرتفعات القوقاز نجد أن بركاني البورز Elburs وأرارات Ararat كانا نشيطين منذ عهد قريب. وقد اكتشف بركانان عظيمان في قارة انتاركتيكا.

وعلى هذا نجد مناطق البراكين الرئيسية تتركز في الحلقة البركانية حول المحيط الهادي، وفي نطاق البحر المتوسط، وفي الجانب الشرقي من المحيط الأطلسي، وفي النطاق الشرقي من قارة افريقيا.

البراكين الطينية: **Mud Volcanoes**:

البراكين الطينية أو المخروطات الطينية ما هي إلا أشباه براكين ظاهرية النشأة exogenous origin. وتبدو في مظهرها الخارجي على هيئة براكين صغيرة ينتشر وجودها في حقول زيت البترول. وهناك أمثلة عديدة لها في شبه جزيرة تامان Taman وكرش Kerch وفي مقاطعة أذربيجان بالاتحاد السوفيتي، وفي رومانيا والصين وإيطاليا وغيرها.

وتوجد موزعة فوق عيوب في الطبقات السطحية من قشرة الأرض في شكل مخروطات تعلوها فوهات فوق قممها. وينبثق منها تكوينات طينية وغازات بترولية مشتعلة على فترات متقطعة. وتتراوح أحجامها بين بضعة أمتار إلى مئات من الأمتار. وتتركب مخروطات هذه البراكين من حطام صخري اندمج بواسطة المواد الطينية كمواد لاحمة.

وتختلط التكوينات الطينية بمياه تحتوي على أملاح كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم واليود والبرومين والبورون. ويفيض هذا الخليط الحار بهدوء من خلال الفوهة، ولكن من وقت لآخر يقذف البركان بكمية كبيرة

من غاز حامض الكربونيك المشتعل. وقد يرتفع عمود من اللهيب عدة عشرات من الأمتار في الجو.

البراكين والنشاط البشري:

من الغريب أن الإنسان لم يعزف عن السكنى بجوار البراكين حتى يكون بمأمن من أخطارها، إذ نجده يقطن بالقرب منها بل وعلى منحدراتها أيضاً؛ فبركان فيزوف تحيط به القرى والمدن وتغطيه حدائق الفاكهة وبساتين الكروم، وجميعها تنتشر على جوانبه حتى قرب قمته. وتقوم الزراعة أيضاً على منحدرات بركان «إتنا» في جزيرة صقلية حتى ارتفاع ٤٥٠ مترا، حيث تسود بساتين البرتقال والليمون والكروم في تربة تتكون من البازلت الأسود، الذي تدفّق فوق المنطقة أثناء العصور التاريخية. وتغطى حقول الكروم مخروط مونت روسو Monte Rosso إلى منتصف ارتفاعه الذي يبلغ نحو ٢١٠ مترا، وهو أكبر مخروط يتركب من الأحجار الصغيرة (جمرات) في بركان إتنا» وقد نشأ في عام ١٦٦٩ أثر انفجار مدمر يعتبر أعظم انفجارات بركان إتنا قوة وتدميراً. وهذه البراكين لا ترحم، إذ تثور من وقت لآخر فتدمر قرية أو أخرى. ويمكن للسائر على طول الطريق الرئيسي فوق السفوح السفلى من بركان «إتنا» وعند نهاية تدفقات اللافا التي انبثقت في عام ١٩٢٩ أن يرى بقايا وأطلال البيوب الحجرية التي جرفتها ودمرتها سيول اللافا المتدفقة. وهي شواهد أبدية تشير إلى الخطر الدائم المحدق بالمنطقة.

وتشتهر جزيرة جاوة ببراكينها الثائرة والنشطة، وبراكينها تفوق في الواقع كل براكين العالم في كمية الطفوح واللوافظ التي انبثقت منها منذ عام ١٥٠٠م، ومع هذا نجد الجزيرة تغص بالسكان، فهي أكثف جهات العالم

الزراعية سكاناً بالنسبة لمساحتها، ويسكنها أكثر من ٧٠ مليون نفس. وقد أنشئت بها مصلحة للبراكين وظيفتها التنبؤ بحدوث الانفجارات البركانية وتحذير السكان قبل ثورانات البراكين مما يقلل من أخطار وقوعها. ولقد ثار بالجزيرة بركان كيلويت Kiluit في عام ١٩١٩، بعد فترة سكون دامت ١٨ سنة. وأثناء فترة سكونه تكونت بحيرة ساخنة المياه في فوهته، ما لبثت مياهها الحارة أن فاضت وتدفقت خلال الأودية فقتلت نحو ٥٥٠٠ شخص، ولهذا فقد أنشىء نفق يصل إلى الفوهة لتصريف مياه البحيرة حتى لا تتكرَّر الكارثة مرة أخرى.

ويسبق الانفجارات البركانية أحياناً حدوث زلازل بركانية، كما تزداد درجة حرارة المداخن Fomaroles، ولهذا تزوَّد المناطق المشهورة بكثرة نشاطها البركاني بآلات حساسة لقياس وتسجيل الزلازل، كما تقاس فيها درجة حرارة المداخن بصورة مستمرة ومنتظمة. فحين تصل درجة حرارة المداخن من حول ميرابي Merapi وهو بركان نشيط إلى ٦٠٠°م، فإن ذلك يُعدّ إنذاراً بخطر حدوث انفجار.

ومن بين محاولات الإنسان لدرْء أخطار النشاط البركاني ما قام به سلاح الطيران الأمريكي من إلقاء القنابل في مجرى لافا كان يتدفق منبثقاً من بركان «مونالوا» على ارتفاع ٢٧٠٠م بغرض تحويل اللافا عن مجراها الطبيعي. وكان ذلك في عام ١٩٣٥ حينما كانت اللافا تتدفق صوب مدينة هيلو Hilo منذرة بتدمير المدينة والميناء الذي يعتبر من حيث أهميته ثاني موانىء جزر هاواي. وقد نجحت المحاولة وحوّل مجرى اللافا، وسلم الميناء من أخطاره.

ويأمل المشتغلون بالدراسات البركانية في جزر هاواي وصقلية في

التوصل إلى تصميم سدود تبنى على أساس دراسات ومقاييس دقيقة لإمكان تحويل مجاري اللافا المتدفقة أو منعها من التدفق والطغيان على الأراضي المعمورة.

ويعتقد بيري Perret أنه من الممكن التنبؤ بأحوال ثوران بركان أثناء مراحل نشاطه إذا ما درس البركان دراسة دقيقة. فقد استطاع ذلك الباحث أن يتنبأ بمراحل ثوران بركان « بيلي » الذي استمر نشيطاً في الفترة بين عامي ١٩٢٩ و١٩٣٢. فبعد أن استمرت انفجاراته زهاء خمسة أشهر، انبثقت أثناءها مئات من السحب البيلية، أكد بيري » مرة أخرى أن البركان، ولو أنه من المحتمل أن يظل نشيطاً فترة طويلة، فإن نشاطه لن يكون بعد ذلك خطيراً. وقد صدقت نبوءته التي استندت على دراسة عميقة ومعرفة بأسرار النشاط البركاني. فقد استمر طفح البركان بعد ذلك عامين ونصف دون خطورة.

المداخن والينابيع الحارة

المداخن Fomaroles:

يلفظ الكثير من البراكين أبخرة وغازات في فترات السكون التي تفصل بين الانفجارات والطفح البركاني. ويستمر خروج الغازات والأبخرة بعد أن يتوقف نشاط البركان لفترة طويلة. ولا يقتصر انبثاقها من الفوهة وحسب، وإنما تخرج أيضاً من خلال شقوق وثقوب في جوانب البركان وأحياناً في الأراضي المحيطة به. هذا عدا ما تلفظه كتل الصهير من المواد المتطايرة التي تجد لها مخارج خلال الشقوق والكسور إلى سطح الأرض، وذلك حينما تصعد هذه الكتل خلال صخور قشرة الأرض، ولكنها لا تتمكن من الوصول إلى السطح فتبرد وتتصلب تحت القشرة.

ويطلق تعبير مدخنة Fomarole (مشتق من الفعل اللاتيني Fomare ومعناه يدخن) على كسر أو ثقب في الصخور تخرج منه أبخرة وغازات (شكل ٥٧). وتسود نسبة البخار بين الغازات إذ تصل إلى نحو ٩٨٪ .ومن بين الغازات التي تلفظها المداخن غاز ثاني اكسيد الكربون والكلور والأيدروجين والميثان وغيرها.

الينابيع الحارة **Hot Springs**:

يكثر وجود الينابيع الحارة بجوار المداخن في الأقاليم البركانية. وهناك ارتباط وصلة وثيقة بينها، إذ تتحول بعض الينابيع الحارة إلى مداخن



شكل (٥٧) مداخن في فوهة بركان كاتماي بألاسكا.

حينما يحل الفصل الجاف، ثم تعود سيرتها الأولى حينما يأتي الفصل الرطب. وقد أدى هذا التبادل الفصلي إلى نشوء النظرية التي تقول بأن الينابيع الحارة تستمد مياهها على الخصوص من الماء الباطني الذي يرشح من السطح ثم يسخن بواسطة بخار الصهير.

وعلى الرغم من وجود العديد من أنماط النافورات والينابيع الحارة التي تختلف فيما بينها تبعاً لدرجة حرارة مياهها، أو بحسب ما تحويه مياهها من مواد مذابة، فإن أهمها نوعان: الينابيع الغالية ذات المياه التي تغلي، ثم الجيزر.

الينابيع الغالية: **Boiling Spings**:

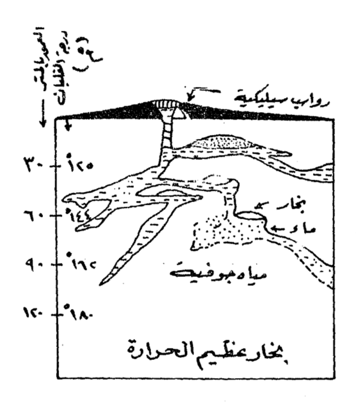
وهي ظاهرة يتميز بها كثير من الأقاليم البركانية. وهي توجد بكثرة في منطقة لاسين Lassen البركانية وفي منتزه « ييلوستون » Yellowstone

وتظهر هناك في شكل أحواض مليئة بالمياه بعضها يغلي ويئز في هدوء أو بشدة واستمرار، وبعضهـا الآخر يغـلى بشكـل انفجاري، وتتخلـل الانفجارات فترات هدوء قصيرة. وتمثل الينابيع التي تغلى بشدة المرحلة الانتقالية إلى الجيزر». ويبدو الماء في الينبوع صافياً رائقاً ذا لون أزرق أو أخضر ما دام مورد الينبوع غزيراً كافياً لتعويض الفاقد بالبخر ؤزيادة. أما إذا تساوت كمية البخار المنطلقة بسبب الغليان بكمية المياه المنبثقة إلى الينبوع، فإن مياهه تتكدر وتصبح حينئذ عكرة بسبب اختلاطها بذرات التكوينات الصخرية المتحللة، وقد تصبح المياه إذا ما نقص معينها أشبـه بكتل من الطين الذي يغلي.

الجيزر Geyser :

وهي عبارة عن نافورة أو فوارة حارة تنفجر على فترات مكونة لأعمدة من الأبخرة والمياه الساخنة. وهي على أنواع عدة، فبعضها يقذف بعمود مائي لا يتعدى ارتفاعه بضعة ديسيمترات، وبعضها الآخر يلفظ أعمدة تصل في ارتفاعها إلى بضع عشرات من الأمتار.

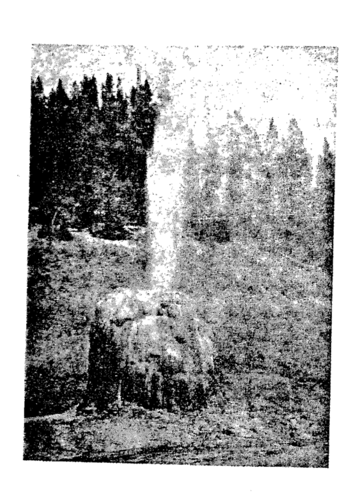
وقد لا يمكث الانفجار في بعض الجيزر أكثر من بضع ثوان، بينما قد يستمر الانفجار وخروج الأعمدة المائية الساخنة من بعضها الآخر بضع دقائق أو عدة ساعات. كما أن كمية المياه التي تلفظها قد تكون صغيرة وقد تكون كبيرة تصل إلى بضع مئات من آلاف الجالونات. وقد تنفجر الجيزر في فترات منتظمة، ولكن معظمها ينفجر بلا انتظام على فترات تتراوح بين بضع دقائق إلى بضع ساعات، وقد تمتد الفترات أكثر إلى أيام وشهور بل بضع سنين. والجيزر ما هي إلا ينابيع حارة من نوع خاص، وهي ليست شائعة الانتشار، ويتركز وجودها في ثلاث مناطق، هي جزيرة ايسلندا وجزيرة



شكل (٥٨) قطاع رأسي يوضح الظروف اللازمة لنشاط الجيزر المساحات المنقطة تمثل تجمعات الأبخرة في كهوف عظيمة الاتساع

نيوزيلندا ومنطقة « بيلوستون بارك ». وتحيط بالجيزر أحياناً أحواض صغيرة الحجم يبلغ قطرها بضعة ديسمترات أو أمتار. وهي عموماً قليلة العمق وتتركب جوانبها من رواسب سيليكية Siliceous Sinter. وتمتد من قاع الحوض قناة إلى أعماق قشرة الأرض (شكل ٥٨) وحول فتحة القناة تترسب المواد السيليكية، وترتفع فوق سطح الأرض بضعة سنتيمترات أو عدة أمتار، وتبدو بمثابة امتداد لقناة الجيزر نفسها (شكل ٥٩).

وأشهر فوارات Yellowstone Park وهي الجيزر المعروفة باسم



شكل (٥٩) مخروط من الرواسب السيليكية- جيزر لون ستار Lone Star بمتنزه يلوستون.

Old Faithful ، وتنفجر كل ٦٦ دقيقة تقريباً ، وتقذف بعمود من المياه الحارة والأبخرة يتراوح ارتفاعه بين ٣٣ مترا و٤٨ مترا ، وينبثق منها مع كل انفجار كمية من المياه تتراوح بين ١٠٠٠٠ و ١٢٠٠٠ جالون (شكل ٦٠).

تفسير طبيعة نشاط الجيزر

يتوقف انبثاق المياه الساخنة من الجيزر على عدة عوامل هي:

١ - كمية ودرجة تدفق المياه الباطنية
٢- مدى توفر الحرارة
٣ - طبيعة قناة الحيزر وصلاتها بالكسور والأنابيب الباطنية

وبسبب تباين هذه العوامل تختلف الحيزر في طبيعة نشاطها

ويعتمد تفسير انفجار الحيزر عادة كلياً على الصلة بين مقدار الضغط الواقع على المياه الباطنية ودرجة غليان الماء ونحن نعرف أن درجة غليان الماء تحت الضغط الجوي العادي وعند مستوى سطح البحر هي ١٠٠°.



وإذا ما ارتفع الضغط ارتفعت درجة الحرارة التي عندما يغلي الماء، وإذا ما انخفض الضغط انخفضت درجة غليان الماء. وقياساً على هذا نجد أن درجة الغليان عند قاعدة عمود من الماء ترتفع نتيجة لضغط ثقل عمود الماء فوقها. وكما يظهر من الشكل رقم (٥٨) نجد أن درجة غليان الماء في قناة الجيزر ترتفع من السطح تجاه الداخل. فإذا كانت القناة منتظمة وقطرها كبير فإن المياه في قسمها الأسفل حينما تسخن وتصبح أكثر حرارة من المياه التي فوقها تتصاعد إلى قمة القناة، وتحل محلها مياه أبرد منها آتية من أعلى القناة. وبذلك تنشأ تيارات مائية صاعدة وأخرى هابطة تعمل على خلط المياه ببعضها إلى أن تصبح جميعاً في درجة حرارة واحدة تقريباً في كل مستويات القناة، وبذلك ينشأ الينبوع الذي تغلي مياهه.

أما إذا كانت القناة ضيقة كثيرة الالتواء والتثني فإن عملية توزيع الحرارة عن طريق تحركات المياه صعوداً وهبوطاً تتوقف أو تكاد، ولهذا تصل المياه إلى درجة الغليان في المستويات المائية العميقة عند درجات حرارة متزايدة تناسب الضغوط الكبيرة من فوقها.

وإذا ما نظرنا إلى الشكل رقم (٥٨) نجد أن حرارة المياه تزداد عند أعماق متباينة بواسطة تكاثف البخار الذي يتسرب إلى أنابيب الجيزر، ويستمر ازدياد درجة حرارة المياه التي يولدها تكاثف البخار إلى أن يصل إلى درجة الغليان التي تناسب العمق والضغط، حينئذ يتوقف البخار عن التكاثف، ويأخذ في التجمع والاحتشاد إلى أن يصل إلى حجم مناسب يستطيع معه بقوة تمدده أن يرفع عمود الماء في قناة الجيزر بدرجة تكفي لدفع بعض المياه من الفوهة، أو قد تكفي، كما هي الحال في فوارة Old Faithful، لأن تدفع بعمود مائي يبلغ ارتفاعه بين ٣ م- ٨ م، ويعد هذا إيذاناً بمقدم الانفجار. مثل هذا الفوران الابتدائي من شأنه أن ينقص من

طول عمود الماء في القناة، وبالتالي يخف الضغط الواقع على المستويات السفلى من الماء، فتصبح حرارة مياهها فوق درجة الغليان فتتحوّل فجأة إلى بخار يدفع بعمود الماء الساخن والأبخرة بشدة وضجيج خارج فوهة القناة إلى الجو.

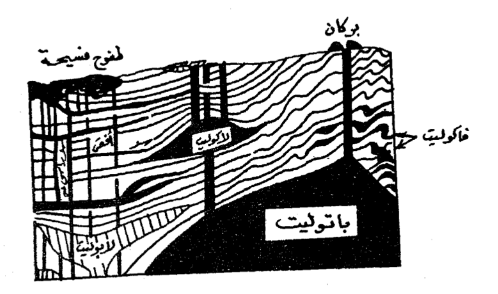
هذا وتتصل قناة الجيزر بأنابيب كبيرة تستمد مياهها من عدة مخازن تتجمع فيها المياه والأبخرة، وهذا يفسر لنا خروج كميات كبيرة من المياه والأبخرة من بعض فوهات الجيزر التي تبدو أعظم بكثير من طاقة قناة الجيزر وأنابيبها.

ويبدو أن مياه النافورات والينابيع الحارة التي توجد بمنتزه «يلوستون» تستمد حرارتها من مصدر عميق، يدل على ذلك أنها تقع حول شواطىء بحيرة «يلوستون» وفي داخل البحيرة نفسها، وتمثل البحيرة حوضاً عظيماً من الماء البارد الذي لا شك قد أثر على حرارة الصخور التي تقع أسفل البحيرة، وعمل على تبريدها إلى عمق كبير. ويحتمل أن يكون هذا المصدر العميق للحرارة مخزناً كبيراً من مخازن الصهير آخذاً في البرودة والتصلب، ومنه تتصاعد أبخرة عظيمة الحرارة تنتشر خلال الكسور، وحيث تلتقي هذه الأبخرة بالمياه الجوفية تتهيأ الظروف لنشأة الجيزر والينابيع الحارة.

النشاط الناري الجوفي

يعتبر النشاط البركاني- كما رأينا- المظهر السطحي لانبثاق الصهير من أعماق قشرة الأرض. وعلى الرغم من أن كتلاً عظيمة من الصهير قد خرجت من فوهات البراكين ومن عديد الكسور في شكل طفوح على نطاق واسع

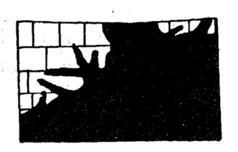
غطت مساحات شاسعة من وجه الأرض، إلا أن كتلاً هائلة لم تنجح في الوصول إلى سطح الأرض وبقيت في الأعماق حيث بردت وتصلبت منشئة لأجسام عظيمة الحجم من الصخور النارية المتداخلة. وتتباين هذه الأجسام في أحجامها وأشكالها وفي صلاتها بالصخور الأخرى التي تحيط بها. ويمكن تمييز الأنماط الآتية منها (شكل ٦١).



شكل (٦١) أشكال تداخلات الصهير وطفوحه.

باتوليت Batholith:

عبارة عن جسم ناري عظيم الحجم، غير منتظم الشكل، جوانبه شديدة الانحدار، ويزداد ضخامة بالعمق، وليست له قاعدة محددة إذ يمتد امتداداً عظيماً في الأعماق (شكل ٦١ و٦٢).



شكل (٦٢) باتوليت.

ويظهر الباتوليت على سطح الأرض- كغيره من الأجسام المتداخلة- حينما تكتسح عوامل التعرية الصخور التي تغطيه فتكشفه، ولهذا فإن حجم الباتوليت كما يبدو لنا يتوقف على مدى تعريته بواسطة عوامل النحت والاكتساح.

ويعتبر باتوليت أيداهو Idaho الذي يقع في القسم الأوسط من ولاية أيداهو أعظم جسم ناري متداخل بقارة أمريكا الشمالية. وتبلغ مساحة القسم الظاهر منه على سطح الأرض نحو ١٦٠٠٠ كيلومتر مربع، ولا شك أن العوامل الخارجية ستكشف منه مساحات أخرى متزايدة بمرور الزمن. ويمتد باتوليت آخر عظيم الجرم أيضاً في أمريكا الشمالية من الحدود الكندية إلى داخل ألاسكا، ويبلغ طوله نحو ١٨٠٠ كيلومتر، ويتراوح عرضه بين ١٣٠ و ١٩٠ كيلومترا.

وتحتل قلب السلاسل الالتوائية عادة نوايات باتوليتية تعتبر تكويناتها الصخرية النارية بمثابة الأعمدة الفقرية لتلك السلاسل الجبلية، فقد صعدت من الأعماق كميات هائلة من الصهير خلال العصور التي عانت فيها قشرة الأرض من القوى الداخلية البطيئة. وقد كان صعود كتل الصهير إما أثناء حدوث حركة إلتواء الطبقات أو بعدها بفترة قصيرة.

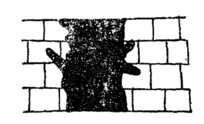
ويميل جسم الباتوليت الذي تداخل صهيره في الطبقات الصخرية أثناء حدوث حركة الالتواء إلى اتخاذ وضع متوافق Concordant مع تلك الطبقات، إذ تلتوي الطبقات من فوقه متسقة مع تقوسه. أما الباتوليت الذي يتداخل في الطبقات الصخرية بعد التوائها أي عقب حدوث الحركة الالتوائية، فإن اتصاله ووضعه بالنسبة لتلك الطبقات يبدو غير متوافق discordant، إذ أنه في هذه الحالة يقطع الطبقات الصخرية التي يغزوها ولا يتمشى مع نظامها.

ويتركب الباتوليت غير المتوافق في معظمه من صخر الجرانيت، أما الباتوليت المتوافق فيتركب عادة من صخر «جرانيت- نيس» الذي تبدو معادنه في شكل متواز تميزه شرائح معدن البايوتيت.

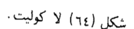
وتعتبر أجسام الباتوليت الجرانيتية بمثابة الأساس الصخري للكتل القارية. وقد نشأت منذ أزمان سحيقة في القدم مكونة للقاعدة التي تراكمت عليها الصخور الرسوبية التابعة للأزمنة الجيولوجية اللاحقة. وهناك من الباتوليت ما هو حديث النشأة مثل باتوليت أيداهو وباتوليت السلسلة الساحلية (وقد سبق ذكرهما) وباتوليت القسم الغربي من سلسلة زيرافشان Zeravshan في هضبة البامير Pamir.

القصبة **Stock**:

هي عبارة عن جسم صهيري يختلف عن الباتوليت في صغر حجمه، إذ لا ينبغي أن تزيد مساحته عن ١٠٠ كيلومتر مربع، فإذا زادت عن ذلك يعتبر باتوليتا، وفيما عدا هذا لا تختلف القصبة عن الباتوليت في ظروف تكوينها وفي شكلها وفي تركيبها الصخري (شكل ٦٣).



شكل (٦٣) قصبة.



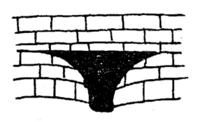
شكل (٦٤) لا كوليت.

لاكوليت Laccolith:

عبارة عن جسم قبابي الشكل سطحه محدب وقاعدته منبسطة، ويبدو كنصف دائرة أو نصف كرة (شكل ٦٤) يتراوح قطرها بين مئات من الأمتار إلى عديد من الكيلو مترات. وفي اللاكوليت استطاعت كتل الصهير المتداخلة أن تضغط على الطبقات وترفعها إلى أعلى- متوافقة معها- في شكل قبة.

وتتمثل أجسام اللاكوليت في كثير من الجبال المنعزلة في مشارف بياتيجورسك Pyatigorsk بالاتحاد السوفيتي. فقد اكتسحت عوامل التعرية كل الطبقات الرسوبية من فوقها، لهذا تبدو الصخور النارية ظاهرة مكشوفة فوق قمم تلك الجبال.

وتعتبر مخازن اللاكوليت من المميزات التضاريسية الواضحة في كثير من أجزاء غرب أمريكا الشمالية. وقد اكتشفت أول الأمر في مرتفعات هنري Henry التي تقع في جنوب ولاية يوتا Utah حيث تبرز فوق هضبة تتركب من الصخور الأفقية المنتظمة. وما يزال بعض هذه المخازن مغطى بطبقات من الصخور الرسوبية، ويدل على وجودها في الأعماق أسفل هذه الطبقات تلك التلال القبابية الشكل التي تنتشر هنا وهناك، والتي تمثل عملية رفع



شكل (٦٥) لابوليت.

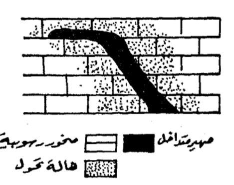
الطبقات فوق الصهير اللاكوليتي المتداخل. وقد استطاعت عوامل التعرية أن تنحت بعضاً من تلك القباب فظهرت أجسام اللاكوليت ومن تحتها الطبقات الأفقية المنتظمة التي ترتكز قواعدها عليها.

لابوليت Lapolith :

وهو جسم ناري يشبه المفتاح في شكله، وأشهر مثال له لا بوليت بوش فيلد Bush field في الترنسفال Transval بجنوب أفريقية، وتبلغ مساحة سطحه نحو ٤٠٠ كيلومتر مربع، ويصل سمكه إلى حوالى ١٠ كيلومتر (شكل ٦١ و٦٥).

السدود الراسية Dikes :

هي عبارة عن كتل من صخور الصهير تملأ الفوالق والكسور التي توجد في الصخور الأصلية. ولهذا فهي تكون جدراناً رأسية متوازية أو تكاد تكون متوازية. وتنتشر السدود بنوعيها الرأسي منها والأفقي في مختلف أنواع الصخور سواء كانت رسوبية أو نارية أو متحولة. وتقطع السدود الرأسية الصخور التي تغزوها، وهي تقطع طبقات الصخور الرسوبية بزاوية معينة قد تكون قائمة (شكل ٦٦ وانظر أيضاً شكل ٦١).



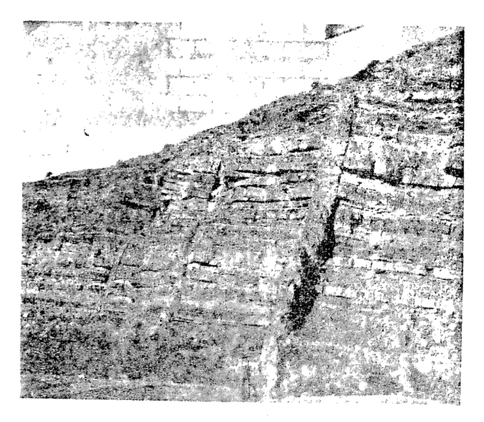
شكل رقم (٦٦) صهير متداحل فى شكل سد رأسى

ويتراوح امتداد السد الرأسي بين بصعة أمتار إلى عدة كيلو مترات، وقد لا يتعدى سمكه بضعة سنتيمترات وقد يصل إلى مئات من الأمتار (شكل ٦٧).

وقد تصل بعض الكسور والشقوق إلى سطح الأرض منذ تكونها، وحينما تتدفق كتل الصهير خلالها تطفح على وجه الأرض مكونة لأشرطة من اللافا، ويحدث هدا كما سبق أن رأينا حيثما توجد براكين نشيطة. وحينما ينضب معين اللافا وتتوقف عن التدفق، يتصلب الصهير في الكسور والفوالق مكوناً لسدود رأسية تظهر رؤوسها على سطح الأرض.

وقد تبقى السدود مطمورة في جوف قشرة الأرض إلى أن تكتسح عوامل التعرية ما يغطيها من تكوينات صخرية، فتظهر حينئذ على السطح.

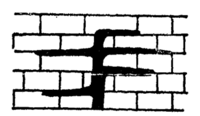
وتعتبر بعض السدود الرأسية ممثلة للقنوات التي كان يتدفق فيها الصهير مغذياً لمخازن اللاكوليت وللسدود الأفقية (شكل ٦١).



شكل رقم (٦٧) سدود رأسية تقطع طبقات رسوبية قصة قرب قاعة ألاميللو كريك Alamillo Creek نيو مكسيكو

السدود الأفقيه Sills

السدّ الأفقي عبارة عن شريط متداخل من الصخور النارية يوازي الطبقات الصخريه (شكل ٦٨) وعلى النقيض من أشرطة اللافا التي تتصلب فوق سطح الأرض، نجد صهير السدود الأفقية يتدفق جانبياً بين الطبقات الصخريه، ويضغط على الطبقات من فوقه فيرفعها إلى أعلى بمقدار مماثل لسمكه (وهو سمك السد الأفقي) وينبغي لنا أن نتصور عظم القوة الدافعة التي تستطيع ... رفع طبقات صخريه إلى أعلى لتفسح المجال لتكوين السد الأفقي ... من الأمتار ومساحته عدة



شكل رقم (٦٨) سدود أفقية

آلاف من الكيلو مترات المربعة، خصوصاً إذا نشأ السدّ عند مستوى عميق في قشرة الأرض

ومن أمثلة هده السدود الأفقية سدّ هوين Whin في وسط انجلترا الذي تبلغ مساحته ٤٨٠٠ كيلومتر مربع. وتمييز السدود الأفقية عن أشرطة اللافا ليس بالأمر السهل. وتساعد عمليات التحول الاحتكاكي التي تحدث في تكوينات الصخور التي تحيط بالسدود الأفقية في تمييزها عن أشرطة اللافا.

القوى الداخلية البطيئة

قد يتناول تأثير القوى الداخلية مساحات شاسعة من قشرة الأرض، فتسمى حينئذ بالقوى المكونة للقارات Epeirogenetic Forces ، وذلك لأنها تنتاب أجزاء عظيمة من الكتل القارية وقد يقتصر تأثيرها على مساحات أقل نوعاً في امتدادها واتساعها وحينئذ تدعى بالقوى المكونة للجبال Orogenetic.

وهي قوى بطيئة لا نحس بتأثيرها إلا عن طريق رصدها خلال سنوات عديدة. ومثال ذلك ما أمكن رصده من تغيرات حدثت في موضع خطوط السواحل بالنسبة لمنسوب مياه البحر وقد وجد أن تأثير تلك القوى في

بعض السواحل يبدو منتظما، ففي فترة معينة يرتفع خط الساحل ثم يعود إلى الهبوط مرة أخرى.

وحينما تهبط الكتل القارية تتداخل مياه البحر وتتقدم خلال أودية الأنهار فتغرق أجزاء من مجاريها الدنيا (Ingression)، كما يحدث أن تغزو مياه البحر مساحات عظيمة من اليابس فتغمرها (Transgression)، وحينما ترتفع الكتل القارية تنحسر مياه البحر عنها وتعود إلى الظهور (Regression).

ويمكن التعرف على التغيرات التي حدثت لخطوط السواحل عن طريق الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية. كما يحدثنا التاريخ أيضاً عن بعض من تلك التغيرات. ففي القرن التاسع الميلادي بدأ ساحل خليج نابلي في المنطقة التي تقع فيها مدينة بوزولي Pozzuoli في الهبوط التدريجي، وأخذت مياه البحر تطغي على اليابس فأغرقت قسماً من تلك المدينة. وفي القرن العاشر الميلادي ارتفع الساحل مرة أخرى، فتراجعت المياه عن اليابس، وظهرت أطلال المباني وبقاياها على الساحل بعيدة عن حافة المياه، ويعتقد أن الفرق في المنسوب بين الهبوط والارتفاع قد بلغ نحو ١٢,٥ متر.

وهناك شواهد أخرى تدل على حدوث حركات رفع في النطاقات الساحلية تتمثل في التقوسات التي تشاهد فوق السواحل المنبسطة، وفي الأرصفة البحرية التي تغطيها إرسابات بحرية من الرمال والحصى المصقول المنبسط وبقايا الأصداف البحرية. وتقع هذه الأرصفة أحياناً على ارتفاعات تصل إلى مئات عديدة من الأمتار فوق منسوب البحر. ويمكن التعرف على مقدار الارتفاع الذي أصاب قسماً من قشرة الأرض عن طريق قياس الفرق في المنسوب بين المصاطب والتقوسات الساحلية وبين مستوى البحر الحالي. كما يمكن تقدير عمر المصاطب بدراسة الحفريات النباتية

والحيوانية التي تحتويها تكويناتها. ومن الممكن العثور على عديد من الشواهد التي تدل على حدوث حركات رفع عند دراسة الأودية النهرية ودلتاواتها.

وكثيراً ما نجد نطاقات ساحلية كانت ترتفع عالياً فوق منسوب البحر أصبحت الآن- بعد هبوطها وطغيان مياه البحر عليها- قسماً من الرصيف القاري، بل تقع أحياناً دون منسوبه، فلقد أمكن تتبع امتداد لمجرى نهر الكونجو تحت سطح مياه خليج غينيا لمسافة بلغت نحو ١٠٠ كيلومتر وإلى عمق بلغ نحو نصف كيلومتر. وهناك مصبات نهرية أخرى عديدة غارقة أمكن تتبعها لمسافات كبيرة في البحر كالأجزاء الدنيا من نهر أوب Ob ونهر ينيسي Yenisei في سيبريا، وكالمصبات الخليجية العظيمة على ساحل خليج مين Maine بشرق أمريكا الشمالية. ونجد دلائل أخرى على حدوث حركات هبوط تتمثل في البحيرات والمستنقعات التي تكتنف أجزاء من النطاق الساحلي الشمالي للبحر الأسود.

وفي شبه جزيرة اسكنديناوه وحوض البحر البلطي نجد أمثلة للحركات الأرضية بين هبوط وارتفاع. فهناك ارتفاع بطيء مستمر على طول الساحل الشمالي للنرويج حيث اكتشفت خمسة أرصفة بحريه أعظمها ارتفاعاً يقع على منسوب ١٧٦ متراً فوق مستوى البحر الحالي. وقد تبين من دراستها أنها قد نشأت في فترة ما بعد الجليد، إذ أنها لا تحوي شيئاً من آثار النحت الجليدي. وقد سجل ارتفاع تدريجي بطيء في كل الأراضي التي تطل على البحر البلطي، ووجد أن معدل الارتفاع يبلغ نحو سنتيمتر واحد في كل سنة. ويتناقص هذا المعدل في جميع الاتجاهات كلما ابتعدنا عن منطقة مركزية تقع في شمال شرقي السويد. وتدل دراسة خطوط السواحل التي أصابتها قوى الرفع على أن المنطقة قد عانت من عملية ارتفاع قبابي تدريجي

لفترة طويلة من الزمن، وأن القسم الأوسط من القبة الفسيحة قد ارتفع نحو ٢٧٠ متراً منذ نهاية العصر الجليدي حتى الآن أي منذ حوالى ٢٠٠٠٠ سنة.

وفي الأقاليم الحارة نجد حركات رفع مشابهة يدل عليها وجود شعاب مرجانية حديثة ظهرت فوق مستوى سطح البحر، ومن أمثلتها الشعاب المرجانية التي توجد الآن فوق سواحل جزيرة ليتي Letti إحدى جزر إندونيسيا، والتي تشير إلى مرحلتي رفع إحداهما تتمثل في الحواجز المرجانية التي تآكلت أسافلها بفعل الأمواج، والأخرى تبدو في شعاب بدأت أعاليها في الظهور فوق مستوى مياه البحر.

ومن السواحل الأخرى التي تعاني من قوى الرفع سواحل جزيرة سبيتسبيرجن Spitsbergen وجزيرة نوفايازيمليا Novayazemlya وسواحل أيسلندا وجرينلندا واسكتلندا والساحل الجنوبي للبحر الأسود وبحر قزوين.

أما السواحل الآخذة في الهبوط التدريجي فتتضمن سواحل جنوب الصين وسواحل استراليا والساحل الشمالي لقارة افريقية. ولا يقتصر تأثير القوى الداخلية على الحركات الرأسية الرافعة وحدها، فقد أمكن تسجيل حركات أفقية رافعة في كثير من أراضي مرتفعات الألب، كالمنطقة منها المجاورة لبحيرة جنيف وفي مرتفعات بافاريا Bavaria، وفي المرتفعات الغربية في أمريكا الشمالية وغيرها. وعلى الرغم من أن معظم الحركات الرافعة التي تسببها القوى الداخلية هي حركات بطيئة تتم خلال فترات طويلة من الزمن. إلا أننا لا نعدم أن نجد مثالاً لحركات رافعة سريعة، فقد ارتفع في عام ١٨٩٩ قسم من ساحل ألاسكا عند خليج ياكوتات Yakutat ارتفاعاً قدر بنحو ١٥ م، ويصحب مثل هذه الحركات الفجائية عادة زلازل مدمرة.

ولهذا فإن الأرض الراسخة Terra firma ليست في الواقع ثابتة وصخورها الصلبة ليست متناهية الصلابة. وكثير من أجزاء قشرة الأرض قد عانى من تأثير الحركات التكتونية أكثر من مرة، وأصاب صخورها الالتواء والانكسار والسحق والتحول.

الأقواس الالتوائية الفسيحة:

هي عبارة عن محدبات تبدو في شكل قباب فسيحة. وتمثلها هضبة كولورادو في ولايتي أريزونا ويوتاه أوضح تمثيل. إذ تتركب تلك الهضبة من غطاء سميك من الطبقات الصخرية الرسوبية البحرية القديمة، يبلغ سمكه عدة مئات من الأمتار وتقطعه خوانق عميقة. وتبدو طبقات الصخور لأول وهلة أفقية على العموم، ولكن حينما نتتبع أية طبقة بدقة نجد أنها أحياناً تتقوس إلى أعلى تقوساً هيناً في هيئة محدبات فسيحة غير منتظمة، وأحياناً أخرى تنثني إلى أسفل في شكل أحواض ضحلة.

ومن الواضح أن هذا الغطاء العظيم من الصخور الرسوبية الذي يبلغ اتساعه بضع مئات من الكيلو مترات لم يرتفع بصورة منتظمة، وإنما التوى وتقوس تقوساً هيناً من وضعه الأصلي الذي كان يقرب من الوضع الأفقي. ولقد اكتسحت عوامل التعرية سطح القبة، ولهذا لا تبدو مظاهر الالتواء فوق السطح الحالي مورفولوجيا بصورة واضحة، ولكن آثار حركة الرفع ما تزال باقية في الطبقات الصخرية التي تقع أسفل السطح القديم، ويمكن دراستها على طول جوانب الخوانق والأودية التي تخترق تكوينات تلك الكتلة الهضبية الملتوية.

وتشيع ظاهرة المحدبات الالتوائية الفسيحة في الطبقات الصخرية التي

تغطي الكتل القارية. وقد عانت جميع التكوينات الرسوبية البحرية القديمة التي توجد الآن فوق القارات من حركات التوائية بعضها كان هيناً لم يؤثر في تلك التكوينات إلا قليلاً، وبعضها الآخر كان عنيفاً استطاع أن يلويها ويرفعها إلى علو شاهق.

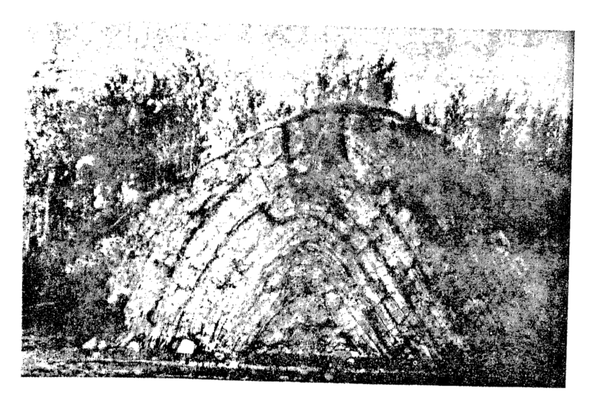
ويقابل هذه المحدبات الفسيحة مقعرات تبدو في هيئة أحواض واسعة كالحوض الذي يشغله خليج سان فرنسيسكو وكاليفورنيا حيث انثنت قشرة الأرض هناك إلى أسفل انثناء هيناً أتاح الفرصة لطغيان مياه البحر على اليابس في تلك المنطقة.

الإلتواءات

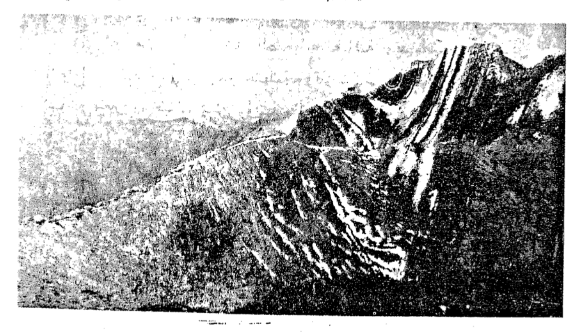
مظهر الالتواء:

في كثير من المناطق نجد الصخور الطباقية وقد انثنت في شكل التواءات منتظمة وأخرى غير منتظمة. وقد يمتد بعض هذه الالتواءات على مساحة صغيرة، وحينئذ يمكن رؤيتها والتعرف عليها في سهولة ويسر (شكل ٦٩ و٧٠). ولكن عادة ما يمتد الالتواء فوق مساحة شاسعة تظهر في بعض أجزائها الطبقات الصخرية مكشوفة ظاهرة، وتختفي في أجزائها الأخرى، فيستلزم الأمر حينئذ دراسة دقيقة لمميزات الطبقات وطبيعة بنائها وأشكالها ونظامها، وتجميع تلك المميزات والظاهرات على امتداد مسافة قد تبلغ عديداً من الكيلو مترات قبل أن يتمكن الدارس من تكوين فكرة واضحة عن نظام الالتواء في المنطقة.

وتحدث الالتواءات الصخرية عادة في تتابع تتعاقب فيه القمم

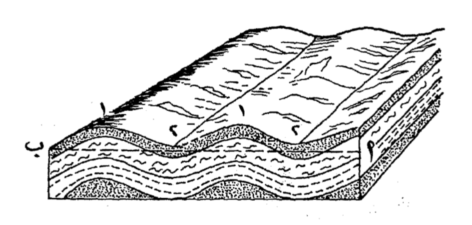


شكل (٦٩) محدب Anticline في إقليم نهر بيس بولاية كولومبيا البريطانية بأمريكا الشمالية.



شكل (٧٠) قسم من مقعر Syncline في حبال الروكي بولاية ألبيرتا بأمريكا الشمالية

والأحواض. وتعرف قمم الالتواءات بالمحدبات Anticlines ، أما الأحواض فتعرف بالمقعرات Synclines (شكل ٧١).

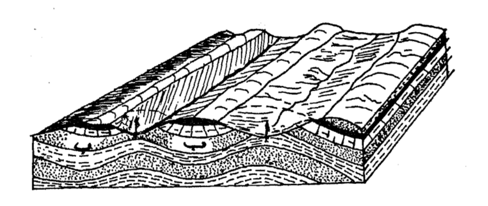


شكل رقم (٧١)

محدب (١) ومقعر (٢) يفترض في الرسم أن الالتواء قد نشأ حديثاً فلم تؤثر فيه عوامل التعرية، ومن ثم فإن المحدبات تكون حافات، والمقعرات تكون أودية. فإذا ما حدث وأثرت عوامل التعرية في المنطقة واستطاعت تحويلها إلى سهل تحاتي- وهذا ما يمثله الخط المتقطع أ ب- فإن الالتواءات تبقى موجودة كظاهرات تركيبية أسفل سطح الأرض.

وحينما يكون الالتواء حديثاً تبدو فيه المحدبات في شكل حافات، أما المقعرات فتبدو في هيئة أودية. وحينما تنحت عوامل التعرية وتكتسح القمم الالتوائية وتسوي سطح المنطقة وتحوله إلى سهل تحاتي، فإن هذين التعبيرين « محدب ومقعر » يستمر إطلاقهما- أسفل السطح- على أجزاء الطبقات الملتوية إلى أعلى وأجزائها الملتوية إلى أسفل على التوالي، ويعاد- تصورياً- بناء الأجزاء من الطبقات التي أزالتها التعرية عند رسم القطاعات الجيولوجية. معنى هذا أن تعبيري « محدب ومقعر » لا يستخدمان للتعبير عن أشكال السطح فقط، وإنما للتعبير أيضاً عن تركيب الطبقات الصخرية ونظامها. وكثيراً ما يحدث أن تنقلب أشكال السطح

بواسطة تأثير عوامل التعرية، فتحتل الأودية مواقع قمم المحدبات السالفة، وتشغل الحافات مواضع أحواض المقعرات السابقة. ومع هذا يبقى استخدام مفهومي محدب ومقعر للأشكال الصخرية الأصلية (شكل ٧٢).



شكل رقم (٧٢): مرحلة متقدمة من مراحل تعرية الطبقات الملتوية. اكتسحت التعرية قمم المحدبات (أ وأ) فشغلت مكانها الأودية. الطبقة السوداء أشد مقاومة للتعرية من غيرها، لذا فقد حفظت المقعرات (ب و ب) التي برزت في شكل حافات. طول القطاع حوالى ٣ كيلو مترات.

وقد يبدو غريباً أن تلتوي الصخور الصلبة التواء حاداً. فنحن إذا حاولنا أن نلوي قطعة من الصخر الصلب بالضغط عليها من طرفيها في اتجاهين متقابلين بواسطة آلة قوية، فإن قطعة الصخر تنكسر إلى شقين أو تتحطم إلى بضعة أجزاء. فكيف يتأتى للطبقات الصخرية أن تنثني دون أن تتداعى. هناك عاملان رئيسيان يبدو أن الفضل يرجع إليهما في عملية التواء الصخور في الطبيعة هما:-

١ - تلك القوى الجبارة التي تعمل على ثني الصخور. ولكن ببطء شديد أثناء فترات طويلة جداً من الزمن، ولهذا فإن الصخورتستسلم لقوي الالتواء البطيئة فتنثني دون أن تنكسر وتتحطم.

٢- طبيعة الإرساب: إذ أن معظم الطبقات الصخرية الملتوية التي نراها الآن فوق اليابس قد أرسبت في الأصل في أحواض بحرية عظيمة. وقد عمل ضغط الرواسب فوق بعضها على عرقلة تكسرها حينا أصابتها قوى الالتواء. ويقال إن قوى الضغط الالتوائي تستطيع، على هذا النحو، أن تلوى- لو أعطيت الوقت الكافي- أكثر الصخور قابلية للكسر، إذ تستجيب لها تلك الصخور فتنثني كما لو كانت لينة مرنة.

دراسة الطبقات المائلة وتمثيلها على الخرائط:

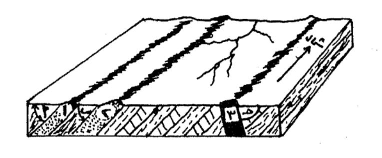
يتقرر مظهر التركيب الجيولوجي لمنطقة ما بحسب العمليات والقوى التي أصابت الصخور بتأثيرها فغيرت من أشكالها وأوضاعها الأصلية. ولا شك أنه من المهم معرفة البناء والتركيب الجيولوجي للأرض في كل مكان وتمثيلها على الخرائط. فإذا كان سطح الأرض عارياً تظهر عليه الصخور مكشوفة خالية من أي غطاء، فإن دراستها حينئذ لتكون من الأمور السهلة. ولكن لما كانت الصخور في معظمها مغطاة بغطاء نباتي أو مائي أو يسترها الجليد المتراكم فوقها، فإن دراستها في هذه الحالة تصبح صعبة.

ويمكن تقرير التركيب الجيولوجي لمنطقة ما بدراسة دقيقة مقارنة للطبقات الصخرية الظاهرة فوق السطح. فإذا كانت الأرض مستوية تماماً والطبقات أفقية، فإن مظهر الطبقة Outcrop سيكون عبارة عن السطح المستوى للطبقة الصخرية العليا، وحينئذ لا نستطيع أن ندرس من التركيب الجيولوجي للمنطقة سوى القليل. ولكننا نستطيع أن نرى الكثير من الطبقات الصخرية الأفقية التي تظهر في الحافات والمنحدرات التي تتاخم أودية المجاري المائية، كما في جنوب الخانق العظيم بالولايات المتحدة الأمريكية على سبيل المثال. وحينما تميل الطبقات بواسطة حركة التوائية ثم

يحدث أن يصيبها فعل عوامل التعرية، فإن اطرافها تنكشف، وحينئذ تسهل دراستها. وعادة نجد أن حافات الطبقات الأكثر مقاومة لتأثير عوامل التعرية هي التي تبرز واضحة أكثر من غيرها.

المضرب والميل Strike and Dip:

يعرف المضرب بأنه اتجاه الخط الذي ينشأ من تقاطع مستوى الطبقة الصخرية مع المستوى الأفقي، أو بعبارة أخرى هو اتجاه الخط الأفقي على سطح الطبقة المائلة. وفي الشكل رقم (٧٣) نجد أن اتجاه المضرب الخاص



شكل رقم (٧٣)
يتضح خط المضرب لطبقتين أكثر مقاومة للتعرية ١ و٢، وسد رأسي ٣، وذلك عن طريق امتداد الحافات التي أنشأتها فوق السطح. واتجاه المضرب في كل حالة شمالي تماماً. الطبقات ١ و٢ تميلان غرباً بزاويتين هما أ وب على التوالي، أما السد فيميل شرقاً بزاويةحـ.

بكل الطبقات بما فيها السد الرأسي شمالي جنوبي. ولما كان السد الرأسي والطبقتان ١ و٢ تعتبر جميعاً شديدة المقاومة لعوامل التعرية، فإن حوافها تبدو بارزة، ولذلك يسهل تقدير اتجاهاتها.

أما ميل الطبقة الصخرية فإنه الزاوية التي تنحصر بين سطح الطبقة والمستوى الأفقي. ومن الضروري معرفة اتجاه الميل ومقداره. ففي الشكل

رقم (٧٣) نجد أن الزاويتين أ وب تميلان بمقدار ٥٠° غرباً، أما مقدار الزاوية (جـ) فهو ٨٠° شرقاً. واتجاه الميل يكون عامودياً (يصنع زاوية قائمة) على المضرب.

ويمكن قياس مقدار الميل بآلة تسمى الكلينوميتر Clinometer (مقياس الميل)، وهي عبارة عن بندول يتحرك فوق قوس مدرج. ويحدد اتجاه الطبقة بواسطة البوصلة أولاً، ثم يوضع الكلينوميتر في اتجاه عمودي على المضرب (وهو اتجاه أو امتداد الطبقة) لقياس زاوية الميل. وقد صمم جهاز واحد يحتوي على البوصلة والكلينوميتر مجتمعين ليسهل تعيين المضرب واتجاه ودرجة الميل دفعة واحدة.

ويمثل الميل والمضرب على الخرائط الجيولوجية بعلامة اصطلاحية معينة هي (قضيب وسهم). وفي هذه العلامة نجد أن اتجاه القضيب كما رسم على الخريطة يشير إلى اتجاه المضرب، أما السهم فيشير إلى اتجاه الميل. وعادة يكتب مقدار زاوية الميل بالدرجات، مثال ذلك ٣٠° ⟵┤.

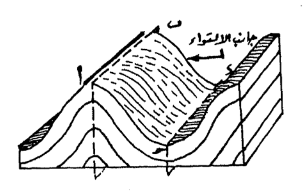
أجزاء الالتواء وعناصره:

يتكون كل التواء من جانبين Limbs، يربط بينهما قوس يمثل قمة الالتواء Crest. أما سطح الانفصال المحوري Axial Surface فهو سطح وهمي يخترق كل طبقات قمة الالتواء ويقسمها مناصفة إلى قسمين. ويسمى الخط الذي على طوله يقطع سطح الانفصال قمة محدب أو قاع مقعر **بمحور الالتواء Fold Axis** (شكل ٧٤).

وتقسم الالتواءات بحسب شكلها ووضع الصخور ونظامها فيها إلى مجموعتين: محدبات Anticlines، ومقعرات Synclines.

وفي المحدب العادي تلتوي الطبقات إلى أعلى في هيئة قوس، وتميل خارج المحور أي بعيداً عن قمة المحدب، كما أن الطبقات الاقدم تقع حينئذ داخل (في باطن) القوس.

وفي المقعر تنثني الطبقات إلى أسفل في شكل قوس مقلوب تميل فيه



شكل رقم (٧٤)
التواءات بسيطة منتظمة. الخط (أ ب) يمثل محور المحدب. الخط (جـ د) يمثل محور المقعر. المستويات المحورية (تصورية) تمثلها الخطوط المتقطعة.

الطبقات تجاه المحور، أي تجاه قاع القوس المقلوب، كما أن الطبقات الأحدث تقع حينئذ في داخل القوس.

وحينما تنحت عوامل التعرية الالتواءات التي تتميز بمحاور أفقية فإن حافات الطبقات الأكثر مقاومة للتعرية تبدو متوازية تقريباً (أنظر شكلي ٧١ و٧٢). أما إذا لم تكن المحاور أفقية في الأصل، وكان السهل التحاتي مستوياً تقريباً، فإن حافات الطبقات الأكثر مقاومة للتعرية في جوانب محدب أو مقعر لا تتوازى وإنما تنحرف لتلتقي في النهاية.

هذا وتتوقف أشكال وأحجام الالتواءات على عدة عوامل هي:

١ - التركيب البتروجرافي للصخور ومدى قابليتها للأنثناء.

٢ - مقدار سمك الطبقات الصخرية التي تتعرض للالتواء.

٣ - اتجاه ومدى قوة الضغوط التي تنشأ عن العمليات المكونة للجبال.

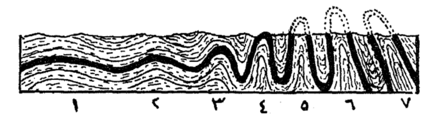
أشكال الالتواءات

١ - الالتواء المنتظم (البسيط) Symmetrical (Simple) Fold:

ويتميز بتساوي ميل الطبقات على كلا جانبيه، ويكون السطح المحوري Axial plane للالتواء رأسياً.

٢ - الالتواء غير المنتظم (المائل) Asymmetrical (Inclined) Fold:

وفيه يميل سطح الانفصال المحوري، إذ تميل الطبقات التي تُؤلف أحد جانبيه ميلاً شديداً (أنظر شكل ٧٥ وشكل ٧٦ رقم ١).

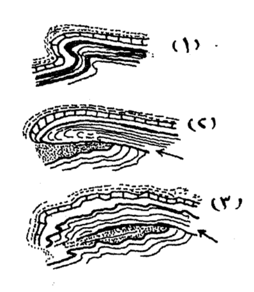


شكل رقم (٧٥): طبقات ملتوية نحتت بعض أجزائها عوامل التعرية. المحدبات من رقم ١ إلى رقم ٥ هي محدبات منتظمة، أما المحدبان رقم ٦ و٧ فمائلان. جوانب الثنيات من رقم ٥ إلى رقم ٧ متوازية، ومثلها تعرف بالالتواءات المتوازية. طول القطاع حوالى ٤٠ كيلومترا.

٣ - الالتواء المستلقي (أو النائم) Recumbent Fold:

ويتميز بالتواء جانبيه وميلها ميلاً شديداً لدرجة أن سطح الانفصال المحوري يصبح أفقياً أو يكاد.

ويكثر وجود هذا النوع من الالتواءات في مرتفعات الألب والهملايا والروكي وغيرها من المرتفعات الالتوائية الحديثة، حيث نجد طبقات رسوبية سميكة قد أصابتها التواءات شديدة معقدة. وتعرف الالتواءات المستلقيــة الضخمــة في مرتفعات الألــب باسم الغطاءات الالتوائيـة Ueberfaltungsdecken (تقابلها كلمة Nappe الفرنسية)، ويقصد بها شريط من الصخور ذو أبعاد عظيمة تقاس بالكيلو مترات يتحرك لمسافة كبيرة- تقاس أيضاً بالكيلو مترات- فوق تكوينات صخرية أسفل منه وأمامه، ثم يغطيها كما تغطي المنضدة بالمفرش (شكل ٧٦).



شكل رقم (٧٦): مراحل تكوين غطاء التوائي مستلقي.

٤- الالتواء المتوازي Parallel or Isoclinal Fold:

وفيه تنضغط الطبقات على كلا جانبيه حتى تصبح متوازية. وقد يحدث هذا في بضعة التواءات متعاقبة، فتصير جوانبها جميعاً متوازية إذ تميل

بزوايا متماثلة (شكل ٧٥). وحينما تنحت عوامل التعرية قمم هذه الالتواءات، فإن الأمر يتطلب خبرة ومهارة في تقييم بنائها وتركيبها، إذ يصعب التفريق حينئذ بين المحدبات والمقعرات نظراً لأن المظهر العام الجديد لا يبدو فيه اختلاف واضح بينهما.

٥- الالتواء الاحادي الميل (الوحيد الجانب):
Monoclinal Fold (one-limb Flexure):

وفيه تلتوي الطبقات في اتجاه واحد فقط (شكل ٧٧). وهو يمثل شكلاً



شكل رقم (٧٧): التواء أحادي الميل، وقد افترضنا في الرسم أن الالتواء قد نشأ حديثاً وبسرعة، فلم تؤثر في طبقاته عوامل التعرية بعد.

انتقالياً بين ظاهرتي الالتواء والانكسار. وعلى كلا جانبي هذا الالتواء نجد الطبقات أفقية أو قد تميل ميلاً متناسقاً هيناً. وفيما بين الجانبين تلتوي الصخور في اتجاه رأسي، ومن ثم فإننا نجد أن جانباً من الطبقات قد ارتفع أو انخفض بالنسبة للجانب الآخر. وقد يحدث بعد ذلك أن تشتد حركة الرفع أو الهبوط فتنفصل الطبقات عن بعضها على طول خط انكسار، وبذلك يتحول الالتواء الوحيد الجانب إلى انكسار عيبي.

هذا وتحدث جميع أشكال الالتواءات الآنفة الذكر- فيما عدا الغطاءات الالتوائيـة- كظاهرات منفردة في وسط طبقات صخرية أفقية. أما الالتواءات العظيمة فتنشأ في مجموعات معقدة الأشكال في أحواض شاسعة

الرقعة تسمى Geosynclines ، وهذه الأحواض عبارة عن نطاقات مستطيلة متسعة من أرض قارة أو قاع محيط قد انثنت إلى أسفل انثناء هيّنا ، وتقدر أبعادها بمئات الكيلو مترات. وتقابلها المحدبات الكبيرة التي تسمى Geosynclines . والمقطع الأول من كلا الكلمتين وهو Geo (كلمة إغريقية معناها الأرض) يؤكد عظم مساحة كل من الظاهرتين.

وقد كانت الأحواض القديمة تتلقى كميات هائلة من الرواسب بلغ سمكها عدة كيلو مترات، إلتوت فيا يعد مكونة لمرتفعات شاهقة عظيمة الامتـداد كمرتفعات الأبلاش والروكي والأنديز ومرتفعات الألب والهيملايا. وقد أمكن التعرف على خصائص تلك الأحواض عندما أزالت عوامل التعرية قسماً من المرتفعات وكشفت عن طبيعة الصخور وتركيبها. فهي تختلف عن المقعرات العادية Synclines في اتساعها العظيم. وقد كان تراكم الرواسب فيها في شكل طبقات هو نتيجة منطقية لحركة الهبوط البطيئة، وقد انثنت الطبقات التي أرسبت في البداية إلى أسفل بسبب استمرار حركة الهبوط ، أما الطبقات الأحدث التي أرسبت في المراحل الأخيرة فقد تراكمت في شكل أفقي.

وتنمو المحدبات الكبيرة هي الأخرى ببطء شديد. وفي أثناء نموها التدريجي تتناولها عوامل التعرية بالتشكيل والتعديل. ويمثلها في أمريكا الشمالية محدب سينسيناتي Cincinnati Arch في ولايتي أوهايو وكينتاكي Kentucky حيث يمتد على مساحة يبلغ اتساعها نحو ٤٠٠ كيلومتر، وفيه تميل الطبقات ميلاهينا في اتجاهات متقابلة من محور المحدب.

فترات الحركات المكونة للجبال Orogenesis :

ينبغي عند دراسة الاضطرابات التكتونية التي أصابت قشرة الأرض

أن نميز عمر تلك الاضطرابات والمساحات التي تأثرت بها. ففي بعض المناطق نجد طبقات ملتوية متماثلة الأعمار، وفي مناطق أخرى نجدها في وضع أفقي. وقد نجد في الاقليم الواحد طبقات مختلفة الأعمار تميل بزوايا متباينة أو غير متوافقة، وهذا يدل على أن الاضطرابات التكتونية لا تحدث بالضرورة في كل مكان من قشرة الأرض، كما أنها لا تحدث باستمرار وإنما في أثناء فترات معينة (انظر قائمة التاريخ الجيولوجي للأرض صفحة ٢٤٨).

وقد أمكن تمييز أربع فترات رئيسية حدثت أثناءها حركات مكونة للجبال هي:

١- فترة التواءات ما قبل الكبرى Pre-Cambrian Folding: وقد حدثت أثناءها عدة التواءات متتالية.

٢- فترة الإلتواءات الكاليدونية Calidonian وقد شملت العصر السيلوري.

٣- فترة الالتواءات الهرسينية Hercynian: أو الفارسكية Variscan: وقد شغلت أواخر العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي. ويطلق على الالتواءات التي تنتمي لهذه الفترة في الجزر البريطانية وشمالي غربي فرنسا اسم الالتواءات الأرموريكية Armorican.

٤- فترة الالتواءات الألبية Alpine Folding: وقد بدأت بحركة التواءات في الزمن الثاني في العصرين الجوارسي والكريتاسي. وبلغت الاضطرابات التكتونية عنفوانها في الزمن الثالث، واستمرت تأثيراتها في الزمن الرابع حتى وقتنا الحاضر.

وتتعرض المرتفعات لتأثير عوامل التعرية منذ بداية تكونها وظهورها

على سطح الأرض. ولهذا فإننا نجد أعظم القمم (٧٥٠٠ م- ٨٨٠٠ م) تقع ضمن المرتفعات الحديثة النشأة التي تكونت أثناء الزمن الثالث، وهي مرتفعات الالتواءات الألبية. وتحيط هذه المرتفعات الحديثة بالمحيط الهادي فعلى جانبه الشرقي تمتد مجموعات من السلاسل الجبلية الشاهقة الارتفاع بموازاة السواحل الغربية للامريكتين. ففي أمريكا الشمالية نجد مجموعة من السلاسل الساحلية، ومجموعة أخرى من السلاسل الداخلية تعرف بجبال الروكي Rocky، ويفصل بينهما هضاب وسطى عالية تشمل هضبة يوكون، وكولومبيا، وأيداهو، والحوض العظيم، ومكسيكو. وفي أمريكا الجنوبية تتمثل هذه الالتواءات الألبية في سلاسل جبال الأنديز Andes. وهي تشبه سلاسل الجبال الحديثة في أمريكا الشمالية، فهي مثلها تتألف من مجموعتين من السلاسل إحداهما ساحلية تشرف على المحيط الهادي والأخرى داخلية، وتفصل بينهما هضاب أهمها هضبة بيرو.

وعلى الجانب الغربي من المحيط الهادي تمتد السلاسل الألبية على سواحل آسيا وفوق الأقواس الجزرية الموازية لها. وتبدو بوضوح في جزر ألوشيان، وكوريل واليابان، والفيليبين، ونيوزيلندا.

وتمتد السلاسل الألبية أيضاً في اتجاه عرضي من المحيط الأطلسي غرباً إلى المحيط الهادي شرقاً. وتشمل سلاسل الجبال الحديثة في حوض البحر المتوسط في شمال افريقيا وهي جبال أطلس، وفي جنوب أوربا وهي: سيرانفادا، والبرانس، وسلاسل الألب، والكربات، وجبال البلقان، والقوقاز. كما تشمل مجموعة عظيمة من السلاسل الجبلية التي تمتد من آسيا الصغرى حتى جزر اندونيسيا نذكر من بينها جبال طوروس، ومرتفعات إيران، وبامير وكوين لن Cuen Lun والهيالايا.

أما المرتفعات التي ظهرت في أواخر الزمن الأول بسبب حركة الالتواءات الهرسينية فتوجد الآن في شكل كتل منفصلة قطعتها عوامل التعرية، ولا يزيد أعظم قممها ارتفاعاً عن ٢٠٠٠ متر. ومن أمثلتها في أوربا: مرتفعات جنوب غرب ايرلندا، وكورنوول، ومرتفعات بريتاني، وهضبة فرنسا الوسطى، والفوج والغابة السوداء، وهضبة بوهيميا: وفي آسيا: جبال ألتاي، وسيان وبيكال، وخنجان، وتيان شان، وحوض تاريم. وفي استراليا: في مرتفعاتها الشرقية. وفي أمريكا الشمالية في جبال أبلاش التي تقع في شرقها: وفي امريكا الجنوبية: في سيرا تاندل Sierra Tandil التي تقع بين بتاجونيا وسهول بمباس. وفي افريقيا: في بعض أجزاء القسم الشمالي من الصحراء الكبرى.

وتنتمي لحركة الالتواءات الكاليدونية مرتفعات أظهرها في أوربا: مرتفعات اسكتلندا واسكنديناوه. وفي آسيا: فوق أطراف كتلة سيبريا وفي بعض أجزاء الكتلة نفسها. وفي افريقيا: في مرتفعات جورارا في الصحراء الكبرى. وفي استراليا: في سوث ويلز. وفي امريكا الشمالية: إلى الشرق من جبال أبلاش وفي الحوض الأعلى من نهر يوكون. وفي أمريكا الجنوبية: في الحافة الشرقية من كتلة البرازيل.

التاريخ الجيولوجي للأرض:

لقد أجمع الجيولوجيون على تقسيم عمر الأرض إلى أربعة أزمنة، كل زمن منها ينقسم بدوره إلى عدة عصور. ويمتاز كل زمن وكل عصر بحياة حيوانية ونباتية تختص به وتميزه من غيره. وفي الجدول التالي ملخص لأهم ما يتميز به كل زمن وكل عصر من أحداث جيولوجية ومن حفريات حيوانية ونباتية.

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته

نشأة الكرة الأرضية

فترة طويلة مجهولة

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
ما قبل الكامبري Cambrian		الاركي Archean	صخور نارية ومتحولة. ينعدم وجود حفريات حيوانية ونباتية يشهد وجود صخور الرخام (صخور متحولة عن أصل جيري) والجرافيت في المستوى العلوي من التكوينات على وجود مملكة حيوانية.
		البروتيروزوي Proterozoic	صخور ناريةومتحولة، بقايا نادرة لحيوانات بحرية إسفنجية وأعشاب.
الحياة القديمة (باليوزوي). أو Paleozoic الزمن الأول Primary	شاع وجود الحيوانات اللافقرية في البحار. ظهور الأسماك البدائية. ظهور الحيوانات اللافقرية والفقرية الدنيئة فوق اليابس. نمو سريع للنباتات الدنيئة، حركات التوائية مكونة للجبال في أواسطه	الكمبري Cambrian	الحفريات الحيوانية والنباتية فوق اليابس مجهولة. أهم الحفريات هي ثلاثية الفصوص Trilobites، ظهور الإسفنجيات، والأسماك البدائية، والديدان؛ والمسرجيات Brachiopods والحيوانات ذات الضلفتين.

الزمن	ميزاته	العصر	ميزاته
	أواسطه (الالتواءات الكاليدونية) وفي أواخره (الالتواءات الهرسينية)		Bivalves ، والحيوانات الرأس قدمية Cephalopods وكلها حيوانات لافقرية. عصر جليدي. نشاط بركاني ضعيف.
		الأردوفيسي Ordovician	تطور ثلاثيات الفصوص والمشتقات Articulates ، والمسجيات في البحار. ظهور مفصليات بحرية ضخمة Arthropods . بداية نمو سريع للمرجانيات في أواخر العصر. ظهور المفصليات البرية الأولى.
		السيلوري Silurian	نمو سريع وتطور لثلاثيات الفصوص والحيوانات المرجانية والكرابنويدات Crinoids ، وفصائل من مجموعة الحيوانات الرأس قدمية، تطور في الأسماك والقنافذ البحرية، طغيان البحر على اليابس في أوائل هذا العصر وانحساره في أواخره، نشاط بركاني عنيف، حركة الإلتواءات الكاليدونية.

الزمن	مميزاته	العصر	مميزاته
		الديفوني Devonian	تطور جديد في الأسماك. نمو سريع في الأمونويدات Ammonoids. وفرة نباتات برية دنيئة. تكرار طغيان البحر وانحساره عن اليابس، مناخ مداري في العروض العليا
		الفحمي Carboniferous	اختفاء ثلاثيات الفصوص وبعض فصائل الأسماك. نمو الغابات والنباتات الأولية بغزارة فوق اليابس. ظهور الحيوانات البرمائية Amphibians والزواحف الضخمة Reptiles. كثرة وجود الحشرات تراكم الرواسب الفحمية. نشاط بركاني عنيف، مناخ مداري في العروض العليا. بدء حركة الالتواءات الهرسينية. عصر جليدي في القارات الجنوبية في ختام هذا العصر.
		البرمي Permian	اختفاء ثلاثيات الفصوص وبعض فصائل المرجانيات من البحر. والامونويدات، ازدهار فصيلة الدينوي Dipnoi من الأسماك في مياه اليابس. انحسار

الزمن	ميزاته	العصر	ميزاته
			المياه عن اليابس وازدياد النشاط البركاني. ختام فترة الالتواءات الهرسينية بظهور مرتفعات الاورال وتيان شان. تراكم جليدي كثيف فوق المناطق الاستوائية، وتراكم الأملاح في أراضي العروض المعتدلة.
الحياة الوسطى (ميزوزوي) أو Mesozoic الزمن الثاني Secondary	تراكم رسوبيات صخرية. ازدهار الامونايتات Ammonites (من مجموعة الرأس قدمية)، والحيوانات البرمائية والزواحف. ظهور الأسماك ذات الهيكل العظمي لأول مرة. فوق اليابس: بداية ظهور الطيور والفراشات والنباتات المزهرة.	الترياسي Triassic	ظهور أسلاف الحيوانات المرجانية الحديثة. فوق اليابس: ظهور الزواحف العملاقة كالديناصور Dinassur والسلحفاة والتماسيح. ظهور الثدييات الأولية متطورة من الزواحف. انحسار عظيم للبحر عن اليابس. مناخ شبه مداري. صحاري واسعة.
	.	الجوراسي Jurassic	في البحر: تطور الأمونويدات وتحولها إلى أمونايتات، ظهور القنافذ البحرية غير المتماثلة. فوق اليابس: ازدهار الزواحف العملاقة. ظهور الضفادع والطيور الأولية، والفراشات. طغيان عظيم للبحر على اليابس. حركة تكوين الجبال السيميرية Cimmerian. تمايز النطاقات المناخية.

الزمن	ميزاته	العصر	ميزاته
		الكريتاسي Cretaceous	في البحر اختفاء الأمونيات في أواخر هذا العصر فوق اليابس ظهور السحالي والسلاحف والتماسيح الحديثة اختفاء الزواحف العملاقة والديناصور ظهور النباتات المزهرة. ونمو الحيوانات الثديية الأوليه طغيان عظم للبحر على اليابس في أواسط هذا العصر
الزمن الثالث Tertiary الحياة الحديثة	إرساب صخور طباقيه طفوح لافا هائلة طغيانات والحسارات بحريه عظيمه. تكوين تدريجي للقارات الحديثة حركات تكوين الالتواءات الألبية	باليوجين Paleogene باليوسين Paleocene ايوسين Eocene أوليجوسين Oligocene	في البحر ازدهار الأسماك الغضروفيه اقتراب الرخويات Molusks من أشكالها الحديثة. فوق اليابس: استمرار وجود الثعابين والسحالي القديمة. تضخم أحجام الحيوانات الثديية. تغاير المناخ. حركة الالتواءات الألبية.
		نيوجين Neogene مايوسين Miocene بلايوسين Pliocene	الحيوانات البحريه تقترب من أشكالها الحديثة. ظهور كثير من فصائل الحيوانات الثديية البحرية. بدأت الثدييات الضخمة في الانقراض من فوق اليابس. ظهور القردة العليا. نهاية حركة الالتواءات الألبية

الزمن	ميزاته	العصر	ميزاته
الزمن الرابع Quaternary		بلايوستوسين Pleistocene أو العصر الجليدي	ظهور الإنسان في بدايته. اتخذت القارات والمحيطات توزيعها الحالي تقريباً. انخفاض درجات الحرارة وزيادة التساقط في شكل ثلج، وتكوين فترات جليدية تعاقبت مع فترات دفيئة.
		الحالي Recent or Holocene	الإنسان الحديث

الانكسارات

تزخر صخور قشرة الأرض بالكثير من الكسور التي تكتنفها في كل لاتجاهات. وتتباين هذه الكسور في أحجامها، فمنها الشقوق والثلوم الدقيقة المجهرية التي لا ترى بالعين المجردة، ومنها الانكسارات والعيوب الضخمة التي صحبها تزحزح وانتقال في كتل الصخور من موضع لآخر.

ولهذه الظاهرات الانكسارية أهميتها الجيولوجية، إذ أنها تعتبر بمثابة شواهد لكثير من الأحداث الجيولوجية التي انتابت قسماً أو آخر من أجزاء الأرض أثناء تاريخها الجيولوجي الطويل. وهي تمثل مناطق ضعف في تركيب الصخور إذ تفسح المجال لفعل عمليات التعرية والتجوية، كما أنها ذات تأثير كبير في دورة المياه الباطنية. هذا عدا أهميتها الكبرى من الوجهة الاقتصادية إذ أنها تحمل الكثير من الرواسب المعدنية.

هذا ويمكننا أن نميز مبدئياً بين نوعين من الكسور:

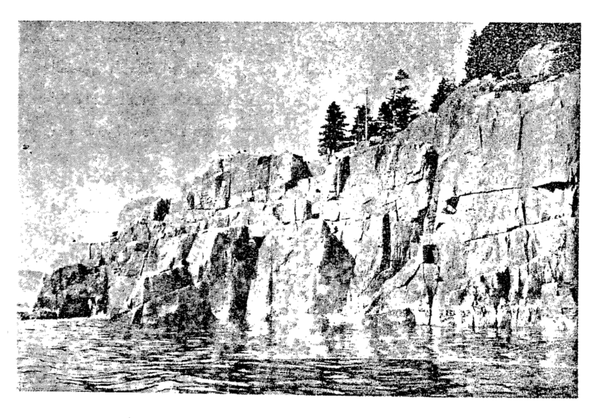
النوع الأول: ويسمى بالمفصل أو الفاصل Joint ، وهو الكسر أو الشق الذي يصيب الصخر دون أن يترتب على وجوده حدوث أي زحزحة أو انتقال في الطبقات أو الحوائط الصخرية.

النوع الثاني: ويسمى بالفالق أو الانكسار أو العيب Fault، وفيه تتحرك الطبقات أو الكتل الصخرية وتتزحزح من مكانها على طول سطح الانكسار Fault Plane .

الفواصل:

الفواصل ظاهرة شائعة الوجود في جميع أنواع الصخور. وهي تنتظم في

مجموعات حيث توجد بوفرة. وإذا وحدت مجموعة واحدة منها في الصخور فإنها تقسمها إلى كتل صخريه متوارية ذات اتجاه واحد. وعادة ما نجد- على الأقل- مجموعتين واضحتين من الفواصل تتقاطعان بزاوية كبيرة. وينشأ من انتظام مجموعتين متقاطعتين أو أكثر ما يعرف بالنظام المفصلي Joint System. وعدا سطوح الانفصال Bedding Plànes الطبيعية التي تفصل بين طبقة رسوبية وأخرى، نجد النظم المفصلية تقسم الصخور الرسوبية الطباقية إلى كتل صخرية متلاصقة. وكلما كان الصخر دقيق الحبيبات كلما كانت الفواصل أحد، وبالتالي يزداد تحديد الكتل الصخرية وضوحاً (شكل ٧٨).



شكل (٧٨) فواصل تقطع طبقات أفقيه من الصخور الرسوبية. ويتضح وجود مجموعتين من الفواصل تتقاطعان بزوايا قائمة.

وهناك عدة أسباب يعزى إليها تكوين الفواصل. فقد تنشأ في الصخور الرسوبية نتيجة لعمليات الشد الناتجة عن تقلص وانكماش تلك الصخور بسبب تجفيفها حالما تظهر فوق سطح البحر؛ وقد تتكون نتيجة لعمليات الانثناء والتقوس التي تصيب الصخور أثناء معاناتها لضغوط القوى الالتوائية.

وتتكون الفواصل في الصخور النارية بسبب عمليات التقلص والانكماش التي تنشأ من تبريد تلك الصخور عقب تحولها من الحالة المنصهرة إلى الحالة الصلبة. وتظهر الفواصل بأشكال عديدة تتوقف على معدل درجة التبريد وعلى حجم وشكل الجسم الناري. فالكتل الجرانيتية الضخمة تتميز بسطوح مفصلية تقطعها وتقسمها إلى كتل صخرية أو منشورات كبيرة. أما الصخور الدقيقة الحبيبات التي تكون السدود الرأسية والأفقية ومخازن اللاكوليت الصخرية فتقسمها عادة فواصل متجاورة متقاربة الأبعاد إلى قطع صغيرة حادة الحواف.

وهناك نوع خاص من الفواصل ينشأ عن عمليات التقلص التي تحدث في الصخور النارية عند تبريدها يؤدي إلى تكوين المظهر العمداني Columnar Structure للصخور. ويتضح هذا المظهر ويكثر في تكوينات السدود الرأسية والأفقية وفي نطاقات اللافا السميكة، حيث نجد العديد من الفواصل المتقاطعة التي تقسم الصخور إلى منشورات متلاصقة، تتميز باختلاف عدد حوافها، ولكنها عادة ما تبدو سداسية الشكل (شكل ٧٩ وانظر أيضاً شكل ٣٢).

وتختلف هذه المنشورات فى أحجامها إذ تتراوح أقطارها بين بضع سنتيمترات إلى عدة أمتار، أما طولها فيصل إلى نحو ١٥٠ متراً. ومثل



شكل رقم (٧٩)
الفواصل السداسية والمظهر الصخري العمداني المسدس المقطع



شكل (٨٠) البناء العمداني للصخور البازلتية.

هذه الأشكال المسدسة نجدها في منطقة جيانتس كوزواي Giant's Couseway الشهيرة في شمال ايرلنده. ومثلها أيضاً الأعمدة البازلتية السداسية المقطع في منطقة هيجاو Hegau في مقاطعة الشافهاوزين Schaffhausen في جنوب ألمانيا.

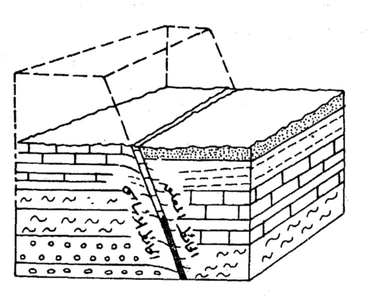
وهناك أمثلة أخرى لها في غرب الولايات المتحدة في منطقة ديفلزبوست بايل Devil's Post-Pile في وادي سان جواكين San Joaquin بكاليفورنيـــا، وبرج الشيطـــان بشمال ولايــة ويومنــج. وتكون هذه الأعمدة دائماً عمودية على مسطح التبريد الرئيسي، ولهذا فإنها تكون رأسية في السدود الأفقية المستوية وفي أشرطة اللافا، بينما نجدها أفقية في السدود الرأسية.

المميزات العامة للانكسارات:

تعتبر الانكسارات من الظواهر الشائعة في كل أنواع الصخور. وقد يحدث تحرك الكتلة الصخرية على طول انكسار حين ينشأ مباشرة أو بعد حدوثه بوقت ما. وأظهر ما تكون الانكسارات وضوحاً في الصخور الرسوبية الطباقية، إذ يسهل فيها التعرف على الانكسارات وقياسها. ويمكن تميـيز الانكسارات أيضاً في الصخور النارية الصلبة خاصة حين تحتوي على عروق من المعادن تتزحزح من مكانها وقد تختفي محلياً. ولهذا فإن دراسة الانكسارات في الصخور النارية لها أهميتها الخاصة من الوجهة الاقتصادية عدا أهميتها العلمية.

هذا ويطلق على السطح الذي على طوله وامتداده تتحرك الطبقات وتنتقل تعبير سطح الانكسار Fault Surface. وعلى الرغم من أن قسماً

من هذا السطح قد يكون مستوياً إلا أنه من النادر أن يكون منبسطاً على جميع مساحته، إذ عادة ما يكون مقوساً وغير منتظم. وكثيراً ما يحدث التحرك على عدة دفعات وعلى امتداد عدد من السطوح الانكسارية تكون في مجموعها ما يعرف بالنطاق الانكساري Fault zone. وعادة ما نجد الكتل الصخرية التي عانت من حركة الانكسار بالغة الحجم والوزن، ولهذا نتوقع أن تكون الضغوط التي سببت تحركها غاية في الشدة والعنف. ونتيجة لاحتكاك الكتل الصخرية ببعضها أثناء رحفها وتحركها، فإن سطوحها تبرى وتصقل، وتكتنفها الحروز فى اتجاه التحرك



شكل (٨٢) انكسار عادي.

تحركت الطبقات الأفقية من موضعها بسبب الانكسار، وتدخل عرق من معدن ثمين (موضّح باللون الأسود) خلال الكسر. وقد استغل المعدن إلى عمق كبير، وظل الفراغ مكانه موجوداً عن طريق تثبيت دعامات فيه تمتد في أوضاع عمودية على جدران الكسر. وقد مالت أطراف الطبقات على طول الكسر (إلى أعلى في الحائط المعلق وإلى أسفل في الحائط الأساسي) بسبب احتكاكها الشديد ببعضها أثناء تحرك الانكسار. وقد اكتسحت عوامل التعرية كتلة عظيمة من طبقات الحائط الأساسي منذ أن حدث الانكسار، وهي الكتلة الموضحة بالخطوط المتقطعة.

ويعرف خط تقاطع الانكسار مع المستوى الأفقي بمضرب الانكسار أو خط ظهوره Strike of the Fault.

ونادراً ما يكون سطح الانكسار رأسياً إذ عادة ما يكون مائلاً، وقد يقترب من الوضع الأفقي في بعض الانكسارات وتسمى الزاوية المحصورة بين سطح الانكسار والمستوى الأفقي بزاوية الميل Dip of the Fault.

وفي الانكسارات المائلة يسمى الحائط الصخري الذي يعلو سطح الانكسار بالحائط المعلق Hanging wall، وهو يرتكز على كتلة صخرية أخرى تقع أسفل سطح الانكسار وتسمى بالحائط الأساسي أو الأسفل Foot wall (شكل ٨٢).

أما مرمى الانكسار Throw of the Fault، فيقصد به مقدار الانتقال الرأسي لأي طبقة على جانبي الانكسار.

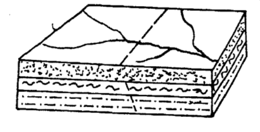
هذا ويلاحظ أن الكسر قد يمتد في الصخور إلى أعماق كبيرة في قشرة الأرض.

.وحينما يرتفع أحد جانبي الانكسار ويعلو الآخر فإنه ينشىء ما يسمى بالحافة الانكسارية Fault Scarp (شكل ٨٤) وحالما تبرز تلك الحافة تتناولها عوامل التعرية بالتعديل والتشكيل، وبمرور الزمن قد تطمس معالمها تماماً.

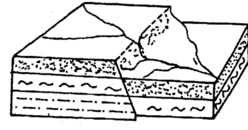
أنواع الانكسارات:

تصنف الانكسارات عادة على أساس مقدار التحرك والانتقال النسبي أو الظاهر للكتل الصخرية على جانبي الانكسار، ويستدل عليه من دراسة

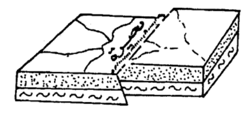
الطبقات أو السدود الصخرية التي أصابتها الحركة. والواقع أنه من الصعب تحديد أي من جانبي الانكسار قد تحرك، وحتى لو حدث وقطع الكسر جسماً محدوداً في الصخر كبلورة أو حصوة إلى قسمين، وتحرك القسمان وابتعدا



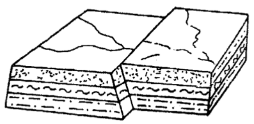
شكل رقم (٨٣) قبل حدوث التحرك، مكان الكسر موضح بخط متقطع.



شكل رقم (٨٤): انكسار بسيط عادي، قد صنع حافة تهبط منها مياه النهر بشلال.



شكل رقم (٨٥): انكسار عكسي تحطمت حافة الحائط المعلق بسبب ثقلها، احتست مياه النهر أمام الحافة فتكونت بحيرة.



شكل رقم (٨٦) انكسار المضرب. حركة الطبقات أفقية موازية للمضرب وليست رأسية.

أنواع من الإنكسارات

عن بعضها لمسافة معينة، فإننا مع هذا لا نستطيع أن نحدد ما إذا كان هذا الجانب أو ذاك قد تحرك أو بقي ثابتاً أو ساكناً، أو ما إذا كان الجانبان قد اشتركا في الحركة والانتقال. ومع هذا فيمكن تمييز الأنواع الآتية من الانكسارات:

١ - الانكسار العادي Normal Fault:

وفيه ينزلق الحائط المعلق على طول الانكسار. ويهبط إلى أسفل بالنسبة للحائط الأساسي، ويميل سطح الانكسار نحو الحائط المعلق الذي انخفض. وينشأ هذا النوع عادة نتيجة لحركات الشد (شكل ٨٥).

٢ - الانكسار العكسي Reverse Fault:

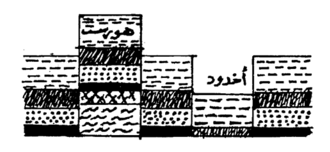
وهنا يبدو الحائط المعلق وقد تحرك وارتفع وأصبح مستواه أعلى من مستوى الحائط الأساسي. وينشأ هذا النوع نتيجة لحركات ضاغطة، وفيه يميل سطح الانكسار نحو الحائط المعلق الذي ارتفع (شكل ٨٤).

٣ - انكسار المضرب (خط الظهور) Strike-slip Fault:

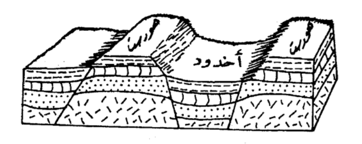
وهو يختلف عن النوعين السابقين في أن الحركة التي تنشئه تكون أفقية موازية لخط ظهور الانكسار (شكل ٨٦). وحينما يقطع انكسار المضرب طبقات أفقية فإنه يتعذر قياس مقدار الحركة إلا بالتعرف على مقدار تحرك وانتقال مختلف الظاهرات على سطح الأرض. وقد يحدد تحرك وانتقال سد رأسي شديد الميل مقدار الحركة واتجاهها.

٤- الانكسار السلمي Step Fault:

وفيه تتعرض المنطقة لانكسارات متوازية تؤدي إلى هبوط الطبقات أو الكتل الصخرية على جوانبها هبوطاً منتظماً في شكل مدرج (شكل ٨٧).



شكل (٨٧) انكسار سلمي



شكل (٨٨) الهورست والأخدود.

٥- هورست Horst (كلمة ألمانية معناها عش النسر):

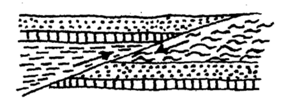
وهي حافة انكسارية تنشأ نتيجة لانكسارات تتسبب في رفع كتلة صخرية وسطى إلى أعلى، أو تتكون من هبوط الكتل الصخرية على طول انكسارات جانبية بينما تبقى الكتلة الصخرية الوسطى ثابتة بارزة (شكل ٨٧ و٨٨).

٦- الانكسار الأخدودي **Graben or Rift Fault**:

وفيه يحدث أن تهبط الطبقات أو الكتل الصخرية بين كسرين، فينشأ عن ذلك حوض أو منخفض يسمى أخدود. وقد تبقى الحافتان ثابتتان أو قد ترتفعان، وتسمى كل منها هورست (شكل ٨٨).

٧- الانكسار الزاحف **Thrust Fault**:

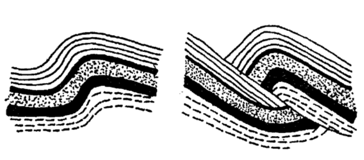
وهو نوع من الانكسارات العكسية التي صحبتها تحركات وانتقالات صخرية عظيمة. وقد كشفت عن أمثاله الأبحاث والدراسات التفصيلية التي أجريت في النطاقات الجبلية التي أصابها تأثير عوامل التعرية، وفي هذا النوع من الانكسارات يزحف الحائط المعلق فوق صخور الحائط الأساسي على طول سطح يسمى سطح الزحف Thrust Surface (شكل ٨٩). وقد يبلغ مقدار الزحف بضع عشرات من الكيلو مترات.



شكل (٨٩) انكسار زاحف.

وتوجد هذه الانكسارات الزاحفة بكثرة في نطاقات الجبال الالتوائية كمرتفعات الهيمالايا والألب وشمال غرب اسكتلندا والروكي وفي القسم الجنوبي من جبال الأبلاش وغيرها (شكل ٩٠).

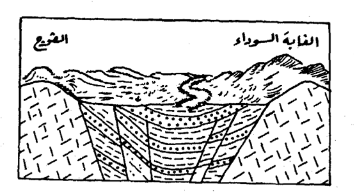
هذا وتتباين الانكسارات في أبعادها بدرجة كبيرة. إذ لا يزيد مقدار



شكل (٩٠) مرحلتان في تكوين الانكسار الالتوائي الزاحف.

الحركة في بعضها عن سنتيمترات، وفي بعضها الآخر قد يصل إلى مئات من الأمتار. ففي النطاق الهضبي في ولايتي أريزونا ويوتاه تمتد عدة انكسارات عظيمة في اتجاه شمالي جنوبي، ويمكن تتبعها على مسافة قد تزيد على ١٥٠ كيلومتراً، ويقطع بعضها الخانق العظيم Grand Canyon. وتتمثل في إقليم الحوض العظيم Great Basin ظاهرة الانكسار على نطاق واسع أيضاً.

وتعتبر الأخاديد من الظاهرات التضاريسية الهامة على سطح الأرض، ويمثلها في أوربا أخدود وادي الراين الذي يشغل حوضاً هابطاً يبلغ طوله نحو ٣٢٠ كيلومتراً وعرضه حوالى ٣٠ كيلومتراً (شكل ٩١).



شكل (٩١) التركيب الانكساري لوادي نهر الراين بين الفوج والغابة السوداء.

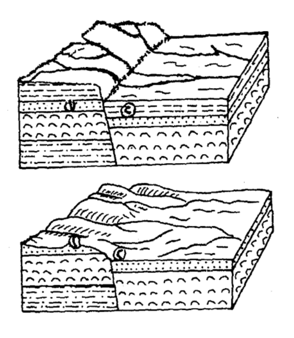
وفي شرق افريقيا وعرب آسيا يمتد الأخدود العظيم الذي يبدأ في القسم الشرقي من افريقيا ببحيرة نياسا Niassa، وتقع فيه مجموعة البحيرات الأخدودية الأفريقية، ثم البحر الأحمر وخليجا السويس والعقبة والبحر الميت ووادي الأردن، وينتهي في شمال سوريا إلى الجنوب من مرتفعات طوروس.

الحافات الانكسارية:

تنشأ الحافات الانكسارية Fault Scarp نتيجة للتغير والانتقال الصخري الذي يحدث في قسم من سطح الأرض بسبب انكسار عادي أو عكسي. وقد أمكن تمييز الكثير من الحافات الانكسارية في المناطق الجبلية التي تتمثل في جروف وجبهات جبلية يبلغ ارتفاع بعضها بضع مئات من الأمتار. ويبدو أن مثل هذه الحافات المرتفعة لم تتكون نتيجة لانكسار واحد، وإنما بسبب عديد من الانكسارات المتعاقبة. فهناك من الشواهد ما يدل على أن الضغوط تخف عن كتل الصخور حينما تنزلق فجأة على طول سطح الانكسار بضعة أمتار أو بضع عشرات من الأمتار، ثم يشتد ساعد الضغوط مرة ثانية في أثناء عشرات أو مئات من السنين قبل أن يتكرر حدوث الحركة تارة أخرى.

وحالما يبدأ الانكسار وتبرز الحافة الانكسارية تتناولها عوامل التعرية بالنحت والاكتساح، فتزيل القسم العلوي من الحافة. وحينما تتوقف حركة الانكسار يستمر نحت واكتساح تكوينات الحافة فينخفض مستواها وتتراجع عن موضع الانكسار. وباستمرار تقدم عمليات التعرية تمر الحافة خلال مراحل الشباب والنضج ثم الشيخوخة، وأخيراً تصل إلى مرحلة السهل التحاتي، وحينئذ يزول التباين في الارتفاع على جانبي الانكسار.

وعادة ما يحدث في الانكسارات العظيمة أن تظهر على جانبي الانكسار صخور تختلف في تركيبها ومدى مقاومتها لعوامل التعرية. وحينئذ تعمل التعرية على تحطيم الحافة الأصلية، ولكن ما دامت المنطقة كلها ما تزال تحتفظ بارتفاع مناسب فإن موقع الانكسار يبدو واضحاً ممثلاً في جرف أو منحدر شديد، إذ أن عوامل التعرية قد تمكنت من أن تزيل قسماً عظيماً من الصخور اللينة الضعيفة من جانب، بينما بقيت الصخور الصلبة التي



شكل رقم (٩٢): حافة انكسارية، لم تصب التعرية بتأثيرها إلا جزءاً يسيراً من طبقاتها العليا، ولكن المجاري المائية تقطع لنفسها أودية عميقة في الكتلة العليا (الحائط الأساسي) وتحمل المفتتات الصخرية وترسبها فوق الكتلة السفلى (الحائط المعلق).

شكل رقم (٩٣): نفس الانكسار السابق يمر في مرحلة متأخرة في دورة التعرية. الرقمان (١) و(٢) يشيران إلى قمة الحافة وقاعدتها في هذه المرحلة: وقد كانت تحت السطح حينما نشأت الحافة في البداية (شكل ٩٢): ولهذا فإن الحافة الأصلية قد تحطمت تماماً. أما الحافة البارزة في هذه المرحلة المتأخرة من دورة التعرية فتدين بوجودها إلى استمرار مقاومة طبقة الصخور الرملية عند رقم (١) لعوامل التعرية

استطاعت أن تقاوم التعرية بارزة مرتفعة على الجانب الآخر. ويمكن التعرف على كثير من الانكسارات القديمة بأمثال هذه الحافات التي نشأت عن طريق التمايز في عمليات التعرية لا عن طريق مشاهدة التغير الموضعي المباشر في الطبقات أو الكتل الصخرية (شكل ٩٢ و٩٣).

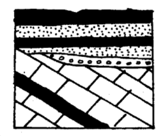
ويوجد العديد من الحافات الانكسارية في كثير من جهات العالم. فقد أمكن التعرف على العديد من الحافات الانكسارية في القسم الغربي من أمريكا الشمالية الذي عانى الكثير من الحركات الانكسارية الكبيرة في عصر جيولوجي متأخر. فالمنحدرات الشرقية للسيرانفاداً والمنحدرات الغربية لمرتفعات واساتش Wasatch ما هي إلا حافات انكسارية حديثة النشأة من وجهة النظر الجيولوجية، وقد حدثت عند حضيض هذه المنحدرات حركات انكسارية حديثة تشهد بجداثتها تلك الحافات التي نشأت بسببها ولم تؤثر فيها عوامل التعرية بعد إلا قليلاً. وقد جلبت المجاري المائية الكثير من التكوينات وأرسبتها عند حضيضها في شكل رواسب مروحية ما تزال هشة مفككة. وقد أمكن تسجيل آخر حركة انكسارية على طول أسافل السير انفادا في عام ١٨٧٢.

ظاهرات التوافق وعدم التوافق في نظام الطبقات:

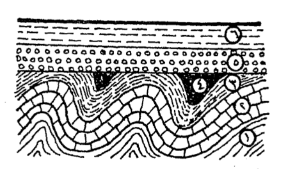
تمثل التكوينات الرسوبية سجلاً تاريخياً صادقاً للعصور التي تكونت خلالها خاصة ما أرسب منها في قيعان البحار ثم رفع بعد ذلك فوق مستواها. وهي حين تكون في حالة منتظمة متناسقة دون اضطراب يصيبها بفعل الحركات التكتونية، فإنها تبدو في شكل طبقات متوازية متماثلة التركيب، أو قد تتدرج في تغير نوع المادة الراسبة كالتغير من الصخور الرملية إلى

صخور الشيل. ويقال للطبقات في مجموعة رسوبية كهذه بأنها متوافقة مع بعضها Conformable.

وحين تصاب تلك الطبقات بتأثير حركات رافعة، ثم تعمل فيها التعرية فتكتسح قسماً منها، فإن أي مجموعة أو مجموعات رسوبية جديدة تتراكم فوقها تكون حينئذ غير متوافقة معها Unconformable (شكل ٩٤). وتعتبر ظاهرة عدم التوافق بين مجموعة صخرية وأخرى مشيراً هاماً لتعاقب أحداث جيولوجية معينة. ويظهر عدم التوافق واضحاً حينما تنطمر الجبال التحاتية القديمة بثنياتها الممزقة وطبقاتها الصخرية المائلة تحت طبقات رسوبية أحدث، إذ نجد حواف الطبقات القديمة تصنع زوايا مع طبقات المجموعة الرسوبية الحديثة، ومن هنا نشأ تعبير عدم التوافق ذو الزوايا Anguler Unconformity (شكل ٩٤ و٩٥). وإذا حدث وأمكن التعرف على هذه الظاهرة في موضعين أو أكثر من القطاع الجيولوجي فإن هذا يشير إلى حدوث اضطرابات أرضية متكررة.



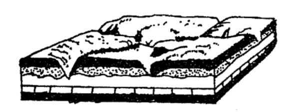
شكل رقم (٩٤)
عدم التوافق ذو الزوايا بين مجموعتين من الطبقات الرسوبية البحرية. وقد أرسبت الطبقات السفلى في تعاقب متوافق. وحدث بعد ذلك أن رفعت ومالت وأصابها تأثير عوامل التعرية، ثم غاصت تحت مياه البحر فترسبت فوقها مجموعة جديدة من الطبقات، ورفعت المنطقة كلها مرة أخرى وبدأت تؤثر التعرية في طبقاتها الحديثة من جديد.



شكل رقم (٩٥)
عدم التوافق بين طبقات ملتوية ١ و٢ و٣ و٤ وطبقات أفقية منتظمة ٥ و٦.

وإذا ما افترضنا أن حوضاً بحرياً ضحلاً قد رفع كلية بانتظام وصار قسماً من اليابس، فإن عوامل التعرية تتناوله بالتأثير فتزيل جزء من الطبقات الرسوبية البحرية إلى عمق معين فوق المساحة كلها. فإذا ما طغي البحر مرة أخرى على المنطقة تترسب طبقات جديدة فوق السطح التحاتي، ثم يحدث بعد ذلك أن ترتفع المنطقة من جديد وتقطعها المجاري المائية فتظهر على جوانب أوديتها الطبقات الصخرية قديمها وحديثها. ولما كان الميل لم يصب الطبقات القديمة إلا قليلاً. فإنها تبدو موازية للمجموعة الرسوبية الحديثة من فوقها، ولكننا نجد أن مستوى التعرية يفصل بين المجموعتين. وعلى أي حال فإن هذا النمط من عدم التوافق لا يبدو واضحاً مثل النوع الآخر ذي الزوايا الذي يلفت النظر من أول وهلة. وبسبب هذا الاختلاف البين بينهما اصطلح على تسمية عدم التوافق الذي لا يتميز بميل واضح بين مجموعتين من الطبقات باسم Disconformity (شكل ٩٦).

وأهم ما يميز هذا النوع الأخير هو توازي مجموعتي الطبقات القديمة والحديثة. ولا يشترط بالضرورة أن تكون الطبقات أفقية، إذ عادة ما يحدث فيها اضطراب هين أو شديد بعد إرساب المجموعة الأحدث، فإذا ما أصابت الحركة التكتونية كلا المجموعتين فإنها تحتفظان بتوازيهما.



شكل (٩٦): عدم التوافق الواسع النطاق Disconformity بين مجموعتين من الطبقات الرسوبية. وهنا لم يحدث ميل في الطبقات، ولكن المجموعة السفلى قد رفعت في تناسق وانتظام فاصابتها التعرية بتأثيرها قبل أن يتم إرساب المجموعة العليا من الطبقات.

وعلى الرغم من أن مفهوم عدم التوافق Unconformity ملازم للعمليات الإرسابية، فإن السطح القديم- سطح عدم التوافق- الذي ترتكز عليه التكوينات الأحدث قد ينشأ فوق صخور مختلفة الأنواع. فالصخور النارية والصخور المتحولة بجميع أنواعها قد تعرضت للتعرية في مساحات عظيمة ثم غطتها بعد ذلك صخور رسوبية. وهنا أيضاً يمثل سطح التعرية مستوى عدم توافق بين الصخور النارية أو المتحولة المعراة وبين الصخور الرسوبية من فوقها.

ولا شك أن مستويات عدم التوافق تؤكد الصراع القوي بين الحركات الأرضية وعمليات النحت والإرساب. فعوامل التعرية تؤثر في اليابس إذ تنحت فيه وتكتسح وترسب في جهات أخرى، فعملية الهدم والبناء دائبة مستمرة، ثم يحدث أن تضطرب الأرض نتيجة لحدوث حركة التوائية في حوض بحري داخلي أو بسبب حركة رفع على نطاق واسع عند حواف قارة، وينشأ عن ذلك أن تظهر الطبقات الصخرية التي سبق أن أرسبت خلال عصور سابقة وتبرز فوق سطح البحر. وحينئذ تتناولها عوامل التعرية بتأثيرها فتنحت وتهدم فيها وتكشف عن السجل الجيولوجي الذي كانت تطويه الطبقات. فالمجاري المائية تنحت لنفسها أودية عميقة تنكشف على

جوانبها مستويات عدم التوافق ذات الزوايا التي تشهد بحدوث حركات التوائية أصابت قشرة الأرض أثناء عصور جيولوجية سالفة، أو قد تظهر مستويات عدم توافق على نطاق واسع Disconformities تشير إلى حدوث حركات رفع قديمة أصابت مساحات شاسعة. وفي الوقت الذي تحسر فيه عوامل التعرية النقاب عن أسرار الماضي الجيولوجي للأرض، نجدها تحمل التكوينات التي نحتتها وتلقي بها في مكان آخر، ربما فوق سطح أرض غمرتها مياه البحر حديثا، معنى هذا أن البناء في موضع ما يتطلب الهدم في موضع آخر. ويبدو الأمر بمثابة صراع دائم بين القوى الباطنية التي تنشىء ظاهرات السطح الرئيسية، والعوامل الخارجية التي تجاهد وتناضل في سبيل الإبقاء على سطح الأرض منخفضا مستويا.

الفصل الرابع

القوى الخارجية وأثرها في تشكيل سطح الأرض

رأينا كيف تستطيع القوى الداخلية أن تؤثر في قشرة الأرض: فهي التي تعمل أساساً على إنشاء البناء الداخلي وتركيب تضاريس تلك القشرة، وهي التي ترفع الجبال وتنشىء الهضاب سواء بالإلتواء أو الانكسار أو بالنشاط البركاني. وعندما تظهر تلك الأشكال على سطح الأرض تتناولها القوى الخارجية بالتعديل والتشكيل، وهي القوى التي تتمثل في عوامل التجوية والتعرية. وبينما تتولد القوى الداخلية في باطن الأرض نتيجة للاضطراب الذي يحدث فيه، تنشأ القوى الخارجية على سطح الأرض في مجال الغلافين الجوي والمائي.

وتنقسم القوى الخارجية إلى مجموعتين:

أولاً- عوامل التجوية: ويقصد بها فعل الجو، وهو الهواء في حالة السكون وتأثيره في تفكيك الصخور وتفتيتها محلياً. ويتم ذلك ميكانيكياً أو كيميائياً، ويقتصر تأثير التجوية في الصخور على تفتيتها دون نقلها.

ثانياً- عوامل التعرية: وهي التي تعمل على تفتيت الصخور ونحتها ثم نقلها من موضعها الأصلي وإرسابها في موضع آخر. وهذه العوامل هي: المياه

الجارية أو الأنهار، والجليد المتحرك، والرياح ثم فعل البحر. وتؤدي هذه العوامل المتحركة وظائف ثلاث: النحت ثم النقل فالإرساب.

أولاً: التجوية

تُعد التجوية بمثابة المرحلة الأولى في تعرية البيئة الطبيعية، وهي كما أسلفنا عملية ثابتة لا يرتبط بعملها التحرك أو الانتقال. ويقتصر فعلها على تفتيت الصخر وإعداده لكي ينقل بعد ذلك عن طريق عامل أو آخر من عوامل التعرية كالماء الجاري أو الجليد المتحرك أو غيرهما.

وتقسم التجوية إلى نمطين:

١ - **تجوية ميكانيكية أو طبيعية**. ويقصد بها العمليات التي تؤدي إلى تحطيم الصخر وتجزئته إلى مفتتات بشرط أن يظل تركيبه ثابتاً دون أن يتغير.

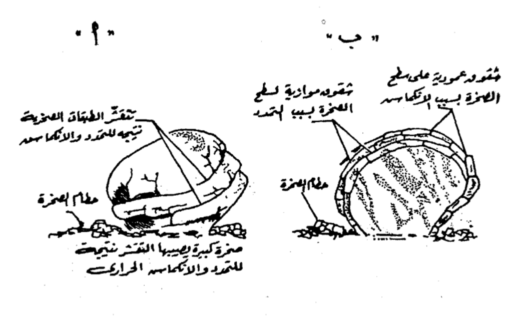
٢ - **تجوية كيميائية**: وهي التي تعمل على تحلل الصخر وتحويل بعض من مكوناته المعدنية إلى معادن أخرى قد تختلف في الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية.

التجوية الميكانيكية:

وهي تمارس عملها في تحطيم الصخور بثلاث طرق:

١ - **الاختلاف اليومي الكبير في درجات الحرارة**: ويتضح تأثير ذلك على الخصوص في الجهات الصحراوية حيث يصفو الجو ويشتد الجفاف. ففي

النهار تلهب الشمس بأشعتها سطح الأرض فتعظم الحرارة، وفي الليل يحدث الإشعاع الأرضي السريع للحرارة فتهبط هبوطاً كبيراً. وتتعرض أسطح الصخور في تلك الجهات تعرضاً مباشراً للتغيرات الحرارية اليومية الحادة، فتتمدد بالنهار وتنكمش بالليل. ولما كانت الصخور رديئة التوصيل للحرارة، فإن تأثير التغير الحراري ينحصر في مستوياتها العليا دون السفلى، وتنشأ عن ذلك ضغوط Stresses خلال مكونات الصخور تؤدي إلى إحداث تكسر مواز لسطوحها. وتتفكك الصخور حينئذ في هيئة أشرطة توازي سطوحها. وعملية التفكك بهذا الوصف تسمى عادة بالتقشر Exfoliation (شكل ٩٧ أ، ب).

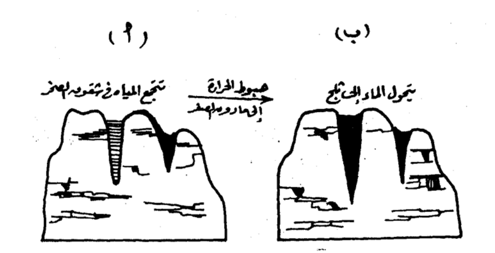


شكل (٩٧) التجوية بفعل التمدد والانكماش الحراري.

وتتركب معظم الصخور النارية والمتحولة من معادن تتباين في درجات تمددها وانكماشها، نظراً لأنها تختلف فيما بينها في حرارتها النوعية. ويؤدي التباين في التمدد والانكماش إلى تحطيم الصخر، بل وإلى تكسر دقيق في

مكوناته المعدنية. وتختلف المعادن أيضاً في ألوانها، ومن ثم في درجات امتصاصها للحرارة وفي مقدار التمدد الذي يؤدي بدوره إلى تصدع داخلي في الصخر. وتشير تقارير الرحالة في الجهات الصحراوية إلى حدوث أصوات تشبه فرقعة طلقات نارية، يعتقد أنها أصوات تكسر الصخور بتأثير التغيرات الحرارية.

٢- التغير الحراري اليومي في الجهات الباردة: وهنا تلعب المياه المتسربة في مسام الصخور دوراً كبيراً في تحطيمها. ففي النهار تعمل الحرارة على إذابة الجليد، فتتسرب المياه الذائبة في مسام الصخور وشروخها وتملأها. وفي الليل تؤدي البرودة الشديدة إلى تجميد المياه في المسام والشروخ، فيكبر حجمها، ومن ثم تضغط على جزئيات الصخر، وتساعد على فصلها عن بعضها (شكل ٩٨ أ، ب).

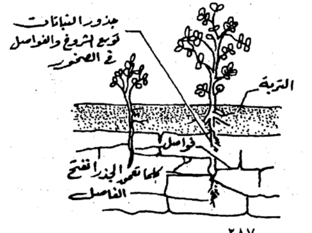


شكل (٩٨) التجوية بفعل التجمد والذوبان.

وظواهر تأثير عملية التجمد والذوبان أو فعل الصقيع شائعة في الحياة اليومية بالجهات الباردة. فكثيراً ما تحدث انتفاخات وتشققات في حواري

وأزقة القرى ويصعب تحريك أبواب المنازل بسبب تجمد المياه، وقد تنفجر مواسير المياه كما تتشقق أجهزة التبريد في السيارات. ويعظم تأثير الصقيع في الصخور اللينة حتى أثناء الموجات الباردة القصيرة المدى، ويحدث أحياناً أن تنفصل طبقات من أسطح المحاجر الطباشيرية بسبب نمو بلورات الثلج في ثناياها. وتتأثر أسطح التكوينات الحصوية تأثيراً شديداً بتتابع التجمد والذوبان. فكثيراً ما يشاهد خطام صخري سميك عند أسافل التلال (تالوس Talus) بعد مضي بضعة أيام من توالي تأثير الصقيع في تكويناتها. وإلى فعل التجمد والذوبان يعزي أيضاً تكوين التراكمات المروحية (سكرى Scree) التي يكثر وجودها عند أسافل النطاقات الجبلية التي أصابها فعل الجليد، وهي واسعة الانتشار في أرجاء وسط أوربا وشمالها التي تأثرت بجليد عصر البلايوستوسين.

٣- **فعل الكائنات الحية:** وهي عامل طبيعي يضاف إلى عوامل التجوية الميكانيكية. فجذور الأشجار تستطيع التداخل والتعمق في الصخور التي تكتنفها الفواصل والشروخ ومثلها الصخور الطباشيرية (شكل ٩٩) وقد تساعد الحيوانات في نبش الحطام الصخري الذي تعرض جزئياً من قبل لتأثير التجوية. ولعل فعل الأرانب أوضح مثال لذلك.



شكل (٩٩)
النبات كعامل تجوية ميكانيكية.

التجوية الكيميائية:

وهي تنشأ عادة من تفاعل غازات الجو كالأوكسيجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء مع العناصر التي تتألف منها معادن الصخور. ومن ثم يمكن التمييز بين العمليات الآتية التي تحدث بواسطتها تجوية الصخور كيميائياً:

١- **عملية الأكسدة**: ويقصد بها إضافة مزيد من الأوكسجين إلى تركيب المعادن الحديدية التي توجد في المستويات التي تعلو مستوى الماء الأرضي. مثال ذلك ما يحدث للصخور الرسوبية الطينية التي تتميز بلونها الأزرق أو الرمادي (لاحتوائها على مكونات حديدية) طالما كانت بمعزل عن الهواء. وحينما تتعرض للجو تتأكسد مكوناتها الحديدية فيتحول لونها إلى اللون الأحمر أو البني. وتبدو هذه الظاهرة واضحة في الأراضي التي تتركب من صلصال جلاميدي أو طين، فنشاهد مستوياتها العليا بنية اللون، بينما نرى طبقاتها السفلى رمادية ضاربة إلى الزرقة.

٢- عملية التميؤ: ويقصد بها اتحاد الماء أو بخاره مع بعض العناصر التي تتألف منها معادن الصخور فتكبر وتتمدد. وينشأ عن هذا التمدد ضغوط تؤثر في الصخر، وتعمل على إضعافه وتفككه. ومن المعادن التي تقبل التميؤ معدن أنهيدريت **Anhydrite** (كبريتات كالسيوم) فيتحول باتحاد الماء إلى جبس.

٣- **الإذابة البسيطة**: وهي ليست شائعة الحدوث في الطبيعة. فالمعادن التي تقبل الذوبان العادي في الماء كالملح الصخري (هاليت) قليلة للغاية وهي في نفس الوقت لا تدخل في تركيب الصخور إلاّ نادراً. ومع هذا فقد

تكون الإذابة البسيطة ذات أهمية خاصة في بعض المناطق التي يكثر فيها وجود صخور ملحية.

٤ - **عملية الكربنة أو الإذابة بمساعدة الحوامض:** وهي مهمة في التحلل الكيميائي للصخور الجيرية والدولوميتية الواسعة الانتشار على سطح الأرض. ومؤدي هذه العملية أن مياه الأمطار تذيب بعضاً من غاز ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الجو، فتتحول المياه إلى حامض كربونيك مخفف. وهذا الحامض له القدرة على إذابة كربونات الكلسيوم، وهي المادة التي يتركب منها الصخر الجيري، وتحويلها إلى بيكربونات الكلسيوم، وهذه تقبل الذوبان في الماء. ومن ثم تذوب وتتحول إلى محلول مائي يضاف إلى المياه الأرضية. وبيكربونات الكالسيوم في الواقع غير ثابتة إذ أنها قد تترسب فيما بعد مكونة لما يعرف بالتوفا الكلسية.

ويؤثر الماء العادي في تحلل بعض معادن الصخور النارية كالفلسبارات، وهي، كما نعلم مجموعة من المعادن الهامة التي تدخل في تركيبها. فهو يتفاعل مع الأورثوكلاس (فلسبار بوتاسي) ويؤدي إلى تكوين أيدروكسيد بوتاسيوم وحامض سليكات الألومنيوم. والأخير غير ثابت إذ يتحلل مكوناً لمعادن صلصالية وسليكات غروية. ويزداد التفاعل بوجود ثاني أوكسيد الكربون، وهو متوفر في الجو. وهذا يتفاعل مع أيدروكسيد البوتاسيوم منتجاً لكربونات بوتاسيوم وماء. ويهمنا من ذلك كله أن الصخر يتحول بالكربنة والإذابة من حالة الاندماج والصلابة إلى حالة من التفكك والتحلل يسهل معها بعد ذلك اكتساحه وإزالته.

وشبيه بهذا تأثير مجموعة من الأحماض تعرف بالأحماض العضوية المشتقة من تحلل المواد النباتية. وهي ذات فعل شديد على الصخور الطباشيرية بل

وعلى الصخور النارية أيضاً. فهي تحلل المعادن الفلسبارية المكونة لها، ومن ثم تعمل على إضعافها.

العوامل التي يتوقف عليها فعل التجوية:

يؤثر في درجة التجوية ونوعها عدة عوامل أهمها:

١- **التركيب المعدني للصخور:** تتركب الصخور من معادن متباينة، وكل معدن يختلف عن الآخر في درجة تأثره بالتجوية. ولذلك فإن الصخور التي تتكون من معادن مقاومة للتجوية كالجرانيت لا تتحلل بسهولة، بعكس الصخور التي تتألف من معادن قابلة للتجوية (الكربنة) كالصخر الجيري. ومن الممكن تنظيم المعادن التي يشيع وجودها في الصخور النارية على أساس قابليتها للتأثر بالتجوية الكيميائية. وفي القائمة التالية وضعنا أكثر المعادن تأثراً بالتجوية على رأسها، وأقلها تأثراً بها في نهايتها:

معادن داكنة	معادن فاتحة
أوليفين	......
.....	بلاجيوكلاس جيري
أوجيت	......
......	بلاجيوكلاس جيري صوديومي
هورنبلند	......
.....	بلاجيوكلاس صوديومي جيري
بابوتيت	.....
	أورتوكلاس
	موسكوفيت
	كوارتز

ويتضح من القائمة أن المعادن الداكنة هي أكثر المعادن قابلية للتأثر بالتجوية الكيميائية، وهي تدخل في تركيب الصخور القاعدية والفوق قاعدية بنسب كبيرة، بينما المعادن الفاتحة قليلة التأثر بالتجوية، وهي تدخل في تكوين الصخور الحامضية. وبناء على هذا فإن الصخور الحامضية أقل من القاعدية تأثراً بالتجوية الكيميائية. ولنتخذ لذلك مثلاً صخر الجرانيت وصخر الجابرو. فالأول يتركب أساساً من الكوارتز والأورتوكلاس والموسكوفيت والبايوتيت. وبالرجوع إلى القائمة السابقة سنرى أنها جميعاً من المعادن القليلة التأثر بالتجوية الكيميائية. أما الجابرو فيتركب أساساً من الأوجيت والبلاجيوكلاس الجيري الصوديومي، وهما من أكثر المعادن قابلية للتأثر بالتجوية الكيميائية.

ولا يتأثر الكوارتز والموسكوفيت بالتجوية الكيميائية، ومن ثم فإنهما يتفككان من الصخر على هيئة حبيبات وشرائح، بينما تتحول المعادن الفلسبارية والحديدية المغنيسية إلى معادن صلصالية. وتبعاً لذلك فإن نتائج تجوية الصخور الجرانيتية يكون عادة أخشن من نتاج تجوية صخور الجابرو. ولهذا أثره في تربة الحطام الصخري الجرانيتي التي تكون عادة أقل خصوبة من تربة الفتات الجابرويدي، فضلاً عن أن الأخيرة تحتوي على نسب أكبر من الكالسيوم.

٢ - **نسيج الصخر ومظهره**: ونقصد بذلك حالة التبلور التي يكون عليها الصخر: فيما إذا كان كبير الحبيبات أو دقيقها، بورفيري المظهر أو زجاجياً. ثم نظام ترتيب البلورات ودرجة اندماجها وتماسكها ببعضها، وعادة ما يكون الصخر الكبير الحبيبات أسرع تأثراً بالتجوية من الصخر الدقيق الحبيبات، وذلك حينما يتماثل الصخران في تركيبهما المعدني. وفي الصخور الكبيرة الحبيبات غالباً ما يترتب على تجوية معدن من مكوناتها

تأثير أكبر من تجوية نفس المعدن في الصخور الدقيقة الحبيبات، نظراً لأن الأخيرة تتميز بنسيج أكثر تماسكاً واندماجاً.

٣- **بناء الصخور**: فالصخور تحوي فواصل ومنها الصخور النارية، وسطوح إنفصال كالصخور الرسوبية الطباقية، أو تتميز بما يشبه الطباقية (النسيج الورقي أو الصفائحي) كالصخور المتحولة. ومثل هذه التراكيب الثانوية تسمح بنفاذ تأثير عوامل التجوية خاصة التجوية الكيميائية. وكلما كثر وجودها في الصخر كلما ازداد تأثره بالتجوية. وفضلاً عن ذلك فإن الصخور التي يصيبها الالتواء والانكسار تكون أكثر تعرضاً للتجوية من غيرها نظراً لما يحدث بها من تصدع وتفلّق يضعفانها.

٤- **المناخ**: وهو يؤثر في الأهمية النسبية لمختلف أنواع التجوية. فالتجوية الميكانيكية تسود في الأقاليم الباردة والجافة. بينما تسود التجوية الكيميائية في الأقاليم الرطبة سواء كانت معتدلة أو حارة. وعلى الرغم من شيوع التجوية الميكانيكية في الأقاليم الجافة، فإن التجوية الكيميائية لها أثرها أيضاً. فمهما يكون الهواء جافاً في الصحاري، فإنه لن يخلو من قدر ولو يسير من بخار الماء الذي قد يتكاثف فوق الصخور التي يتم تبريدها بسرعة أثناء الليل على هيئة ندى. وقد تبين من دراسة الآثار الجرانيتية المصرية أن هنالك من المواضع ما يناسب تجويتها كيميائياً. فالتماثيل التي توجد بجوار القاهرة حيث يسقط مطر قليل قد أصابتها التجوية بدرجة أكبر من زميلاتها في صعيد مصر الأجف. وقد إتضح أيضاً أن أسافل التماثيل قد تأثرت بالتجربة أكثر من أعاليها، وذلك بسبب تعرضها للرطوبة والبلل لاتصالها بالتربة.

ويتغلب تأثير التجوية الكيميائية على التجوية الميكانيكية في الأقاليم

المعتدلة حيث يعتدل سقوط المطر ويقل البخر. وفي المناطق الاستوائية تتوفر الظروف المثالية لعمليات التجوية الكيميائية، إذ تجتمع هنا شدة الحرارة مع غزارة المطر. وهنا نجد الصخور في بعض الأصقاع وقد جويت لأعماق تتراوح بين ٣- ٦ م، بل أحياناً إلى أعمق من ذلك. وتتأثر الصخور هنا بفعل الكربنة والحوامض العضوية تأثراً شديداً وسريعاً. وقد أشار دي مارتون إلى تكوين طبقة من الحطام الصخري في منطقة ريو دي جانيرو بلغ سمكها نحو نصف متر في مدى عشرين عاماً فقط.

٥- **الزمن**: من البديهي أنه كلما طال زمن تعرض الصخر للتجوية كلما اشتد عمقها وزاد تأثر الصخر بها. ومع هذا فمن الممكن أن يكون هناك حداً لفعل التجوية ما لم يكتسح نتاجها من فوق الصخر بأستمرار. ومن المؤلفين- ومنهم ديفز- من يعتقد أن التربة أو نتاج التجوية يحمي الصخر الذي يرتكز عليه من فعل التجوية. وإذا صح هذا بالنسبة للتجوية الميكانيكية، فإنه لا يصح تماماً بالنسبة للتجوية الكيميائية. فالتجوية الكيميائية تستطيع النفاذ إلى الصخور والتأثير فيها قبل أن تنكشف للجو، أي أثناء وجودها مدفونة أسفل الحطام الصخري. وكثيراً ما يحدث أن تصبح التربة المسامية نفسها بمثابة إسفنجة مشبعة بالأحماض العضوية التي تؤثر في الصخور أسفلها فتجويها.

آثار التجوية في تشكيل سطح الأرض:

١- تعتبر التجوية بمثابة عملية مساعدة لعوامل التعرية المتحركة فهي تفكك الصخور وتفتتها، ومن ثم تجهزها للنقل بواسطة الرياح أو الماء الجاري أو الجليد المتحرك. فتسهم بذلك في تآكل الصخور وتخفيض سطح اليابس.

٢- تساهم عملية الإذابة (الكربنة) في تشكيل سطح المناطق التي تتركب من صخور جيرية ودولوميتية إذ تحدث فيه فجوات وحفراً خاصة، كما تعمل على تخفيض منسوبه. فمثل تلك المناطق التي تقع بالأقاليم الرطبة تتميز بأنها أقل ارتفاعاً من الجهات المجاورة التي تتألف من صخور مقاومة لعملية الإذابة.

٣- تنشيء التجوية تلالاً مروحية الشكل عند حضيض المرتفعات.

٤- تعمل على تكوين التربة. وهي الغطاء السطحي المكون من المفتتات الصخرية الدقيقة.

عمليات تحرك المواد على المنحدرات

يتعرض تحرك الفتات الصخري على المنحدرات لعمليات عظيمة التنوع، بعضها يتم ببطء شديد ولكن بصفة مستمرة، بينما يتسبب البعض الآخر في تحركات فجائية لحطام صخري كبير الحجم، تعقبها فترات هدوء طويلة. وقد لا تكون العمليات البطيئة الحديثة هي المسئولة الأولى عن تشكيل المنحدرات، ولكنها التحركات العظيمة المتقطعة للمواد الصخرية. ويبدو أن فعل مثل هذه العمليات كان أبعد أثراً أثناء عصر البلايوستوسين، خاصة في القارات الشمالية، أما في العصر الجيولوجي الحديث فإن تأثيرها قد أصبح محدوداً.

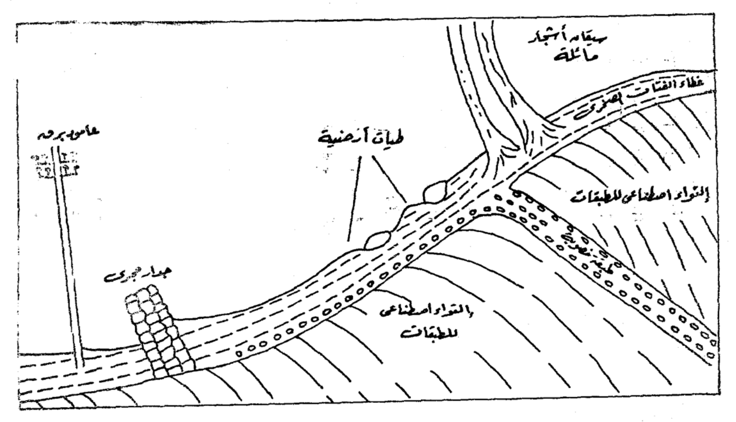
وقد أمكن التعرف، من خلال دراسة عمليات تحرك المواد الصخرية، على سلسلة متتابعة الحلقات، تبدأ بالمجرى المائي، الذي فيه تكون السيادة للمياه على الفتات الصخري، ثم إلى عملية غسل المنحدر، فالتدفق

الشريطي، والتدفق الطيني، ومنه إلى التدفق الأرضي، فالإنهيار الصخري، ثم أخيراً إلى الإنزلاق الأرضي الذي فيه تكون الغلبة للمواد الصخرية على المياه. ويقابل الزيادة المضطردة في كميات الفتات الصخري بالنسبة للمياه خلال السلسلة، زيادة مضطردة في مقدار الزاوية اللازمة لقيام عمليات التحرك بعملها. وهناك اختلاف واضح بين انهيار الحطام الصخري والإنزلاق الأرضي من جهة، وبين جميع أشكال تحرك المواد من جهة أخرى. ويتضح هذا الاختلاف في طبيعة التحرك، فكل أشكال تحرك المواد الصخرية التي تشارك فيها المياه تتعرض للتدفق، أما الأنماط الأجف فتعاني الإنزلاق أو التزحلق. والفرق بين التدفق والإنزلاق يتمثل في أن التدفق تصاحبه سرعة تحرك كبيرة عند سطح كتلة المواد المتحركة، وتتناقص السرعة حتى تصل إلى الصفر عند قاعها؛ بينا تصاحب الانزلاق سرعة تحرك متعادلة تصيب كل أجزاء كتلة المواد من أعلاها إلى أسفلها، أو قد يحدث أحياناً أن تزداد السرعة ازدياداً طفيفاً صوب القاع.

هذا ويمكن تقسيم تحركات المواد إلى نمطين رئيسيين: تدفق، وانزلاق. وفي التدفق نميز بين السريع منه والبطيء.

تحرك المواد بالتدفق البطيء:

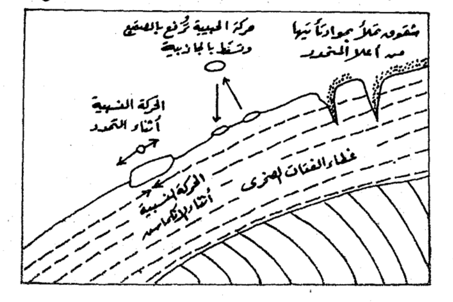
لعل زحف التربة Soil Creep هو أكثر أنماط تحرك المواد بالتدفق البطيء شيوعاً وانتشاراً. وفيه يحدث تحرك بطيء للحطام الصخري ومواد التربة على جوانب المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية، ويحدث زحف التربة في المناطق المعتدلة والحارة على السواء. ويمكن التعرف عليه بظواهر متنوعة نذكر منها: ميل قوائم الأسوار وأعمدة البرق والهاتف وجذوع الأشجار نحو حضيض المنحدر، وانتفاخ سطح المنحدر نتيجة لتراكم الفتات



شكل (١٠٠): أنماط من الشواهد التي تشير إلى زحف التربة.

الصخري أمام الجدران تجاه قمة المنحدر، وإنطواء الأرض الخضراء أسفل الجيلاميد الزاحف، ووجود صفوف من الحصى في التربة السفلى يمكن إقتفاء أثرها إلى مصدرها عند مظهر الطبقة في مكان بعيد صوب القمة، وظاهرة الإنثناء الاصطناعي تجاه أسفل المنحدر لأعالي الطبقات المائلة (شكل ١٠٠).

وقد أمكن التعرف على عدد من العمليات التي يستطيع كل منها أن ينشىء تحركاً طفيفاً جداً، لكنها حين تجتمع وتتضافر في تأثيرها تصبح قادرة على إحداث زحف التربة. فمياه المطر تحرك الحبيبات الصغيرة، وهي بإزاحتها للمواد الدقية نحو أسفل المنحدر، تمهد الطريق لتحرك الحصى والأحجار. وحينما تنمو بلورات الثلج أسفل حبيبات التربة، فإنها تولد حركة رفع صقيعي تدفع بالحبيبات إلى أعلى مسافة تصل إلى نحو ١٠ سم، في اتجاه عمودي على المنحدر، وتعود الحبيبات إلى السقوط في اتجاه عمودي أيضاً بتأثير قوى الجاذبية (شكل ١٠١). ولانصهار بلورات الثلج، إذا



شكل (١٠١): بعض العمليات المسببة لزحف التربة.

حدث الانصهار فجأة، تأثير مهم، إذ يتسبب في سقوط الحبيبات وانقلابها أو تدحرجها لمسافة قصيرة نحو أسفل المنحدر. وتتمدد الأحجار بالحرارة فوق المنحدر نحو حضيضه بدرجة أكبر منها تجاه قمته، وذلك بسبب تأثير قوة الجاذبية التي تعاون التمدد تجاه الحضيض؛ ويكون الانكماش أثناء التبريد في الجانب المواجه لقمة المنحدر أكبر منه في الجانب المظاهر له، نظراً لأن الجاذبية الأرضية تعاون الانكماش في الجانب الأول. وتصبح محصلة التمدد والانكماش بمثابة حركة بطيئة للأحجار نحو أسفل المنحدر. وتمتلىء الشروخ التي تنشأ نتيجة لتجفيف التربة، كما تمتلىء الحفر التي تنبشها الحيوانات أو تتخلف عن جذور النبات بمواد صخرية تأتيها من الجانب المواجه لأعلى المنحدر، وهذا من شأنه أن يساعد في تحريك التربة وزحفها البطيء. ومن بين القوى الأخرى التي تسهم في زحف التربة، تمايل الأشجار، ووطء الحيوانات، وعمليات الحرث في اتجاه الانحدار.

وهناك أنماط أخرى لتحرك المواد بالتدفق البطيء كزحف المواد إلى أسفل المنحدر لتكوين المخروط الرسوبي Talus Creep، وزحف الصخر Rock Creep، وزحف الصخر الجليدي Rock Glacier Creep، والأنسياب الأرضي Solifluxion. وتتميز الأنماط الثلاثة الأولى بتحرك جاف لحطام صخري خشن، يتم تحت ظروف متباينة نوعاً ما. ففي النمط الأول تتحرك المواد نحو حضيض المرتفع لكي تنشىء مخروط التيلاس أو الأسكري Scree، ويتكون الحطام الصخري الجليدي الزاحف من تدفقات من الجلاميد المختلط بقدر صغير من الفتات الصخري الدقيق الحبيبات وكمية صغيرة من حطام الجليد. ويتم زحف الصخر، وهو حركة للكتل الصخرية، نتيجة لزحف التربة من جهة، وللإنزلاق من جهة أخرى. أما الإنسياب الأرضي فهو تدفق بطيء نسبياً للتربة وما تحويه من جلاميد،

حدث ويحدث تحت تأثير ظروف مناخية قطبية، وفوق منحدرات ذات درجات انحدار هينة تتراوح بين ٢- ٣ درجة. وهناك ظروف مواتية لإحداث الإنسياب الأرضي أهمها: عدم وجود غطاء نباتي، ووجود تربة سفلى دائمة التجمد، وانصهار الجليد الذي تعمل مياهه على «تشحيم» كتلة المواد المتحركة. ولقد كانت للإنسياب الأرضي أهمية خاصة في مناطق هوامش الجليد أثناء عصر البلايوستوسين. وتضاءلت هذه الأهمية في ظروف المناخ الحالي الذي يسود الأجزاء المعمورة.

تحرك المواد بالتدفق السريع:

تعتمد حركات التدفق السريع إلى حد كبير على تشحيم محكم بالمياه للمواد المتحركة. والتدفق الأرضي Earth Flow، والتدفق الطيني Mud Flow، تعبيران يستخدمان للتعبير عن نمطين رئيسيين من أنماط التدفق السريع. ويرتبط بكلا النمطين تدفق المواد الرطبة، ولكن التدفقات الطينية عادة تحدث فوق منحدرات أشد، وتكون موادها أكثر احتواء للماء، كما أنها أكثر سرعة من التدفقات الأرضية. وللتدفقات الأرضية أهمية خاصة في المصاطب النهرية التي تكتنف أودية بعض الأنهار، كالتي تحاذي وادي نهر السنت لورنس وروافده. فقد تتشبع بالمياه طبقة صلصالية تقع أسفل رمال المصطبة، فتتدفق كتلة مواد الطبقتين إلى مجرى النهر. وإذا حدث وكان الانحدار شديداً، فمن الممكن أن تصاحب هذا النمط من تحرك المواد درجة متزايدة من الإنزلاق.

وتعتبر التدفقات الطينية من خصائص السفوح الأشد انحداراً، التي فوقها تسقط الأمطار الغزيرة، فتسبب تحركاً لطبقة سميكة من المواد المتحللة في منطقة تخلو من غطاء نباتي كثيف. ومثالها التدفق الطيني

المعروف بندفق سلمجوليون Slumgullion الذي حدث في مرتفعات سان جوان في ولاية كلورادو. وقد سبق التدفق تساقط صخور بركانية متجوية ومشبعة بالمياه، تلاها تدفق الطين الذي تحرك نزلاً لمسافة عشرة كيلو مترات من ارتفاع ٨٠٠ م على سنح درجة انحداره خمس درجات.

وهناك نمط ثالث يعرف بانهيار الفتات الصخري Debris avalanche وهو أكثر شيوعاً في المناطق الرطبة مع وجود غطاء نباتي كثيف، ويحدث فوق المنحدرات الشديدة. ويتضمن الانهيار تدفقاً وانزلاقاً في نفس الوقت. ومن ثم يصبح تحرك المواد وقد دخل في مجال ما يسمى بالإنزلاق الأرضي Landslide.

هذا وتنبغي الإشارة إلى أن المقصود من مثل هذا التصنيف، كغيره من تصنيفات الظواهر الطبيعية، مجرد التمييز للتبسيط وتسهيل الدراسة، فالعمليات متداخلة، ولا يوجد حد واضح بين مختلف أنماط التدفق، كما لا يوجد فاصل حاد بين التدفق والانزلاق.

تحرك المواد بالإنزلاق:

تتناول عملية الانزلاق المواد الصخرية الجافة على وجة الخصوص، وتحدث عادة بسرعة، ويدخل ضمنها تساقط وانزلاق الصخر والدبش، ولكن أكثر التحركات وضوحاً وأهمية من هذا النوع هي الانزلاقات الأرضية Land Slides. ولما كانت سرعة التحرك لا تتناقص تجاه أسفل المنحدر، فإنه لا بد من وجود سطح على امتداده يحدث الانزلاق، ممثلاً لطبقة صخرية محكمة التشحيم.

ثانياً: عوامل التعرية

تستطيع عوامل التعرية بما تقوم به من نحت (هدم) ونقل وإرساب (بناء) أن تغير من معالم سطح الأرض.. وتظهره بصورة جديدة. فهي كالمثّال تتناول الصخر الذي أبرزته العمليات الباطنية فتنحته وتصقله وتشكله، ثم تحمل فضلات النحت إلى جهة أخرى، وتعود فتؤلف بينه، وتبنيه في أشكال وصور جديدة.

«أ» التعرية النهرية

الماء الجاري بما يقوم به من نحت ونقل وإرساب هو أهم عوامل التعرية جميعاً وأبعدها أثراً في تشكيل سطح الأرض. ولا يقتصر أثر الأنهار على المناطق الدائمة أو الفصلية التساقط، بل يتعداها إلى الأقاليم الصحراوية التي قد تسقط عليها أمطار فجائية بين حين وآخر، فتنشىء سيولاً جارفة تحفر لنفسها أودية لا تختلف كثيراً في مظهرها عن أودية الأنهار الدائمة الجريان. وفضلاً عن ذلك فإن بعض الأنهار تستطيع اختراق الصحاري نابعة من مناطق قصية ومنها نهر النيل ونهر السند. وفي المناطق الباردة تتحول بعض الأنهار الجليدية إلى أنهار تجري فيها مياه الجليد الذائب..

مصادر مياه الأنهار:

مياه الأمطار هي المصدر الرئيسي لكل المياه التي تجري جرياناً سطحياً فوق الأرض. وحين تسقط الأمطار يتبخر بعضها ويتسرب جزء آخر في مسام الصخور وخلال الفواصل والشقوق والفوالق الصخرية، أو يختزن في البحيرات والمستنقعات والغطاءات والأودية الجليدية، بينما ينحدر الباقي مكوناً للمجاري المائية.

وترد مياه الأمطار إلى الأنهار من:

١ - التدفق السطحي عقب سقوط الأمطار مباشرة.

٢ - المياه الجوفية المختزنة في مسام الصخور، وهي تتسرب إلى الأنهار تسرباً جانبياً، فتعوض ما تفقده المجاري المائية من المياه نتيجة للتبخر. مثال ذلك ما يرد إلى نهر النيل في فترة التحاريق من طبقة المياه الأرضية في الصحراء الشرقية والغربية.

٣ - المياه الذائبة من الجليد كنهر الرون الذي ينبع من ثلاجة الرون، والمنطقة من البحيرات كنهر النيل من البحيرات الاستوائية، والمنبثقة من العيون والينابيع كنهر التيمز بانجلترا، وأنهار لبنان ومنها النهر الكبير الجنوبي الذي ينبع من عين داوود، ونهر قديشة (أبو علي) الذي ينبع من نبع مغارة قديشة، ونهر الكلب الذي يصدر من نبع مغارة جعيتا.

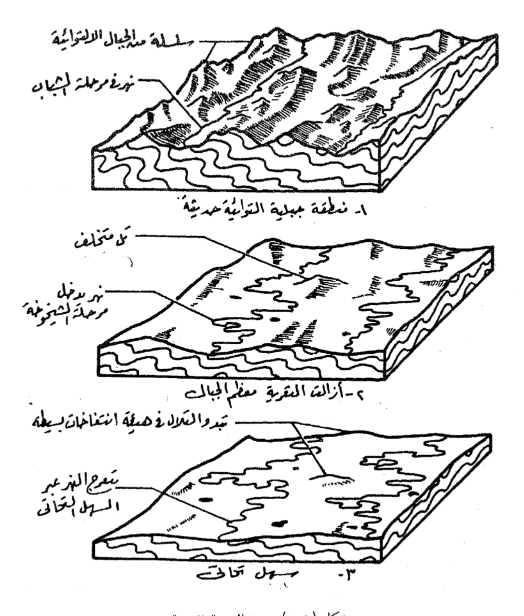
نشأة الأنهار وأطوارها:

حينما تسقط الأمطار أو تذوب الثلوج في جهة من الجهات المرتفعة، فإن مياهها تنحدر مكونة لسيلات غير محدودة الجوانب، ويتفق اتجاهها مع الانحدار العام لسطح المنطقة. ولا تلبث هذه المسيلات أن تتجمع في مجاري مائية محدودة الجوانب صغيرة الحجم، ثم تتلاقى هذه المجاري الصغيرة مكونة مجاري أخرى أكبر فأكبر، حتى تنشأ في النهاية مجاري رئيسية تحمل المياه وتلقي بها في بحر كنهر النيل ونهر الراين، أو في محيط كنهر الكونغو ونهر السنت لورنس، أو في بحيرة أو بحر داخلي كنهر الفولجا (في بحر قزوين) ونهر أموداريا وسرداريا (في بحر آرال)، أو في مستنقع مالح كنهر تاريم (في بحيرة لوب نور) ونهر هامبولت في ولاية نفادا الذي يتلاشى في منخفض مالح عظيم.

ويلتقي بالنهر أثناء جريانه من منبعه إلى مصبه عدد من الأنهار تدعى بالروافد. وينشأ بذلك نظام نهري يشغل مساحة تجميع للمياه تسمى **حوضاً**. ويحيط بالحوض خط تقسيم مياه رئيسي يفصل بينه وبين حوض نهر آخر. وأحياناً تتوزع المياه من منطقة تقسيم مياه واحدة على عدة أنهار تجري في اتجاهات متباينة، وتنصرف إلى بحار قصية عن بعضها. ففي قسم من الألب السويسرية حول سان جوثارد يقع مركز التصريف النهري لقسم عظيم من القارة الأوربية. ومنه ينبع نهر الراين وروافده الآري Aare والرويس Ruess (ينتهي الراين إلى بحر الشمال)، ونهر الرون (ويصب في البحر المتوسط) ونهر تسينو Ticino رافد البو Po (يصب في البحر الأدرياتي).

وحينما تجري المياه في النهر فإنها تؤدي وظائفها الثلاث: النحت والنقل والإرساب. وهي بقيامها بوظائفها تعدل وتشكل من معالم أحواضها. فهي تمزق سطح الأرض، وتنحت الأودية وتخلع عليها ظاهرات مميزة، وتترك تلالاً وحافات متخلفة فيما بينها. وبالتدريج يتحطم المظهر الطبيعي الأصلي؛ ويتم اكتساح المواد نهائياً، وتتحول أرض الحوض المضرسة بمرور الزمن إلى سهل ندعوه **بالسهل التحاتي** Peneplain . وقد قدر علماء أمريكا أن حوض نهر المسيسيبي يتآكل وينخفض بالتعرية بمعدل يصل إلى حوالى ٣ سم كل ٤٠٠ سنة، وأن معدل الانخفاض بالنسبة للسطح العام للولايات المتحدة يبلغ نحو ٣ سم كل ٩٠٠ سنة، هذا على اعتبار أنها لا تتأثر بعمليات رفع توازنية.

ويدأب النهر في عمله تدريجياً، وتظهر في حوضه تغيرات متجانسة وهو ينتقل من مرحلة إلى أخرى من مراحل تطوره، حتى تكتمل دور التعرية ولكل من مرحلة الشباب والنضج والشيخوخة مميزاتها وظاهراتها المثالية التي تتضح من دراسة مدى انحدار مجراه، وشكل قاعه وواديه، والتوازن بين



شكل (١٠٢) دورة التعرية النهرية.

عمليتي النحت والإرساب. ومن الممكن أن تتمثل في أي نهر جميع المراحل الثلاث: فنصادف مرحلة الشباب في مجراه الأعلى في الجبال، ومرحلة النضج في مجراه الأوسط، ومرحلة الشيخوخة حيث يجري بطيئاً مترنحاً عبر سهل منبسط صوب البحر.

نظم جريان الانهار:

يقصد بنظام جريان النهر التفاوت الفصلي في مقدار ما يجري به من مياه.ومردّ ذلك إلى التباين في كمية ما يسقط من المطر في مختلف جهات العالم، وإلى اختلاف مواسم سقوطه. ولهذا وذاك أثره المباشر في مائية النهر، وفيما يؤديه من أعمال النحت والنقل والإرساب. وتتجه العناية إلى دراسة نظم جريان الأنهار لما لها من ارتباط وثيق بالمشروعات الخاصة بالتحكم في الفيضان وتوليد القوى الكهربائية.

ويتوقف نظام جريان المياه في أي نهر على عدة عوامل هي:

١- **درجة الانحدار**: فكلما اشتد انحدار الأرض كلما ازداد انصراف المياه في النهر وعلا مستواها وعظم خطرها. مثال ذلك نهر دجلة الذي ينبع من أرمينيا ثم يجري بالقرب من جبال زاجروس، ويتلقى مياه عديد من الروافد التي تنبع منها والتي تتميز بانحدارات شديدة جداً، ومن ثم يتميز بفيضانات فجائية مخربة. وبسبب سرعة تدفق المياه إليه يأتي فيضانه في شهر أبريل مبكراً عن فيضان نهر الفرات في مايو شهراً كاملاً.

٢- **نظام التساقط وكميته في مختلف فصول السنة**، سواء كان التساقط على هيئة مطر أو ثلج. فالأنهار التي تنبع وتجري في أقاليم مطرها منتظم الكمية والتوزيع طول العام، تحافظ على مستوى المياه فيها إلى حد كبير. ومنها الأنهار التي تجري في الجهات الاستوائية كنهر الأمزون والكنغو، وفي مثلها يعلو مستوى المياه بعض الشيء في الاعتدالين. أما الأنهار التي تستقي مياهها من أمطار تتساقط في فصل واحد من السنة، فإننا نجدها تمتلىء وتفيض بالمياه في فصل المطر، وينخفض مستواها في موسم

الجفاف. ومنها أنهار إقليم البحر المتوسط التي تفيض شتاءاً، وأنهار الأقليم الموسمي التي تفيض صيفاً كنهر إيراوادي وميكونج ويانجتسي. ويفيض النيل صيفاً نتيجة لسقوط الأمطار فوق هضبة الحبشة حيث تنبع روافده السوبات والنيل الأزرق والعطبرة. وفي العروض المعتدلة تستقي الأنهار مياهها كلية من الأمطار، ومثلها نهر السين والساءون، وهذه تصل إلى أدنى منسوب لمياهها في فصل الصيف حين يشتد التبخر، وتزداد حاجة النبات إلى الماء.

وإذا كان النهر يستمد مياهه من ذوبان الثلوج المتراكمة فوق المرتفعات عند منابعه، فإن موسم فيضانه يتفق مع الربيع وبداية الصيف، مثال ذلك نهر دجلة ونهر الفرات اللذان يفيضان في أوائل الصيف، ويهبط منسوب المياه فيهما إلى أدنى حد في الخريف عقب الصيف الطويل الحار الجاف. وتبلغ المياه أقصاها في الأنهار الألبية في شهري يونيو ويوليو حيث يجتمع ذوبان الثلوج مع تساقط المطر، وتهبط إلى أدناها في أواخر الخريف.

هذا ويساعد الأنهار على الاحتفاظ بمستوى مياه مناسب في مجاريها عدة عوامل نجملها فيما يلي:

١- وجود صخور مسامية في النطاق الذي يجري به النهر: فهي تعمل على امتصاص المياه أثناء ارتفاع منسوب النهر، وتعيدها إليه وقت التحاريق. وقد سبق أن ضربنا لذلك مثلاً بنهر النيل.

٢- كثافة الغطاء النباتي الذي يكسو حوض النهر: فهي تعوق سير المياه، ومن ثم يقل تدفقها نوعاً وقت الفيضان. فتنصرف في المجرى بالتدريج. مثال ذلك نهر الأمزون الذي يجري خلال إقليم من الغابات الاستوائية الكثيفة.

٣- مرور النهر في مناطق حوضية أو بحيرات تعمل على تنظيم تدفق المياه فيه حين يخرج منها. فهي بمثابة خزانات طبيعية تحتجز فيها المياه الزائدة، وتغذيه بها وقت انخفاض مستوى مياهه، مثال ذلك نهر الرون الذي يمر ببحيرة جنيف، والراين ببحيرة كونستانس، والنيل بالبحيرات الاستوائية وبحيرة نو.

٤- تعدد المصادر التي تغذي النهر بالمياه: كأن يتلقى النهر مياهاً من ذوبان الثلوج في الربيع والصيف، ومياها من أمطار الخريف والشتاء، كنهر الجارون بفرنسا. أو أن يجري النهر في أقاليم مناخية متباينة، تسقط فيها الأمطار وتذوب الثلوج في مواسم مختلفة، كنهر الراين والدانوب في أوروبا، ونهر المسيسبي في أمريكا الشمالية.

وفي ضوء هذا العرض العام لنظم جريان الأنهار والعوامل التي تؤثر فيها يمكننا تقسيمها إلى ثلاثة أقسام:

١- النظام البسيط: ويتضمن كل سنة فترتين: إحداهما للفيضان والأخرى للتحاريق. ويتمثل في عدة أنهار منها اليانجتسي والفولجا والنيل.

٢- النظام المزدوج: وتتميز أنهاره بارتفاع منسوب المياه فيها في فترتين واضحتين. وذلك بسبب ذوبان الثلوج في أوائل الصيف، وسقوط الأمطار في الخريف والشتاء، ومثلها نهر الجارون. أو عن طريق حدوث قمتي مطر كل عام، كما في الأنهار الاستوائية ومثلها نهر الأمزون والكونغو.

٣- النظام المركب: وهو نظام تتميز به كثير من أنهار العالم الكبيرة التي تختص بأحواض فسيحة تغطي أقاليم مناخية متباينة، وتتلقى روافداً عديدة، كل منها يختلف عن الآخر في نظام جريان المياه فيه. ومن ثم فإن

نظام جريانه يصبح خليطاً أو مركباً من عدة نظم. ويمثل هذا النظام المركب نهر الراين والدانوب والمسيسيبي.

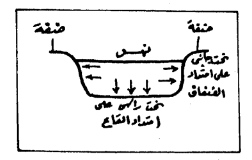
الأنهار كعامل نحت ونقل وإرساب

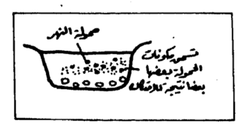
بعد أن يتكون النهر، يركز كل جهوده في أعمال التعرية، فتنشط مياهه في تفتيت الصخور، وفي حمل الحطام الصخري إلى حيث يمكن إرسابه.

النحت النهري:

يتلخص فعل الأنهار كعامل نحت في أربع عمليات هي:

١- فعل المياه ٢- عملية نحت الجوانب والقاع بواسطة قوة ضغط المياه وما تحمله من رواسب Corrasion ٣- عملية احتكاك المواد الصخرية ببعضها Attrition ٤- عملية الإذابة والتحلل.





شكل (١٠٣) عمليات النحت النهري

١- فعل المياه: ويتمثل في قوة تحركها في المجاري النهرية. فالمياه المندفعة لها مقدرة على اكتساح المواد المفككة التي تصادفها في طريقها، كما تدخل في الشقوق وتتماوج فيها فتساعد على تحطيم الصخر الصلب. وللاضطرابات المائية والدوامات التي تنشأ عند منحنيات المجرى تأثير قوي، فهي تعمل على نحت وتقويض ضفاف المجرى Cavitation خصوصاً إذا كانت تتركب من صخور رملية ضعيفة التماسك أو صخور صلصالية وحصوية.

٢- عملية نحت الجوانب والقاع: ويستعين النهر في ذلك بحمولته التي يستخدمها كأداة طحن وسحق. ويشتد فعل هذه العملية حيث تستطيع الدوامات المائية إدارة الحصى في الفجوات التي توجد في قاع المجرى، فتحفر ما يسمى بالحفر الوعائية Pot-holes . ونتيجة لنحت القاع وجرف مواده يزداد عمقه.

٣- عملية احتكاك المواد الصخرية ببعضها: تحتك المواد الصخرية التي يجرفها النهر ببعضها، كما تحتك بالقاع وبالجوانب، وينشأ عن ذلك تحطيمها وتفتيتها إلى جزئيات أصغر، فيسهل على مياه النهر حملها ونقلها.

٤- الإذابة والتحلل: تستطيع مياه النهر بما تحويه من غازات ومواد مذابة أن تذيب بعض أنواع الصخور التي يتألف منها سطح الأرض. وتعد الصخور الجيرية أكثر الصخور قابلية للذوبان، لهذا كانت الأنهار التي تجري في مناطق تتركب من تلك الصخور أقدر على النحت وعلى تكوين أودية عميقة واسعة من تلك التي تجري في صخور نارية أو رملية.

وتعمل مياه النهر أيضاً على تفكك وتحلل الصخور الغير قابلة للذوبان،

فلا يذوب الصخر كلية في هذه الحالة، وإنما تحلل المياه بعض العناصر التي تدخل في تركيبه، فينحل ويفقد تماسكه.

النقل النهري:

يستهلك النهر جزء من طاقته في الاحتكاك بقاعه وجوانبه، وجزء آخر في تلاطم كتل الماء ببعضها نتيجة للاضطرابات والدوامات التي تحدث فيها، أما الباقي فيستخدمه في نقل حمولته. وتتألف حمولة النهر من المواد التي فتتتها التجوية أو حملتها إليه روافده أو مياه الجليد الذائبة، بالإضافة إلى الرواسب التي نحتتها مياه النهر ذاته. وتعظم مقدرة النهر على الحمل Competence حينا تكثر مياهه وتزداد سرعة تياره في زمن الفيضان.

وتتألف حمولة النهر من نوعين من المواد:

١- **مواد ذائبة:** سبق أن أوضحنا أن بعض أنواع الصخور تقبل الذوبان في الماء العادي كالملح الصخري، أو في الماء الحامضي كالحجر الجيري، فالأمطار التي تغذي الأنهار تذيب أثناء سقوطها بعضاً من ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الجو، ومن ثم تستطيع مياه النهر أن تذيب كثيراً من الصخور الجيرية خصوصاً إذا كان النهر يجري على جميع طوله فوق أرض جيرية كنهر شانون Shannon في أيرلندا. كما أن المياه الأرضية التي تخرج من جوانب النهر ومن قاعه وتساهم في مائية النهر تحوي الكثير من هذه المواد الذائبة. وتحمل الأنهار إلى مصباتها مقداراً هائلاً من تلك المواد، فقد قدر ما يحمله نهر المسيسيبي منها كل عام بنحو ١٢٦ مليون طن.

٢- **مواد غير ذائبة:** وتتركب من الحطام الصخري المختلف الأحجام

يستطيع النهر نقل هذه المواد على اختلاف أحجامها بعدد من الطرق. فهو يحمل حبيبات الرواسب الدقيقة كمادة عالقة في مياهه، وهذه تسمى **بالحمولة العالقة** Suspension. بينما تتحرك الحبيبات الكبيرة على قاع المجرى بقوة دفع التيار عن **طريق القفز** Saltation، فهي تلمس قاع النهر على فترات. أما الحصى **فيتدحرج** على القاع بقوة الجاذبية ودفع المياه. ولا يستطيع تيار النهر في العادة أن يدفع بالكتل الصخرية الكبيرة إلاّ في زمن الفيضان حين تكثر مياهه. وتسمى حمولة النهر من المواد التي تتحرك على امتداد القاع سواء بالقفز أو بالتدحرج أو الجر **بحمولة القاع أو حمولة الجر** Traction Load.

ولا ينقل النهر جميع هذه المواد بدرجة واحدة في جميع أجزاء مجراه. ففي الأجزاء العليا من المجرى حيث تعظم سرعة المياه يقوى النهر على حمل المواد المختلفة الأحجام بطريقة أو بأخرى. أما حيث يهدأ التيار وتقل سرعة المياه فإن مقدرة النهر على حمل هذه المواد تقل، ويحدث ذلك على الخصوص في المجرى الأدنى من النهر، وتبعاً لذلك ترسب المواد في قاع النهر وعلى جوانبه. والنهر يوزع رواسبه توزيعاً منتظماً يعتمد على حجم المواد التي تتألف منها حمولته وعلى ثقل المعادن التي تدخل في تركيبها. ففي الأجزاء العليا من المجرى ترسب الكتل الصخرية والحصى، وفي الأجزاء الدنيا ترسب المواد الدقيقة كالرمال والطين. وتكون حمولة النهر في جزئه الأدنى من الدقة والتناسق لدرجة أن المياه غالباً ما تكون ذات لون بني داكن.

وقد أحصيت كميات الرواسب التي يحملها نهر النيل وتمر عند وادي حلفا بنحو ١٠٠ مليون طن كل سنة، منها نحو ٣٠ مليون طن من الرمال الدقيقة، وحوالى نفس القدر من الصلصال، والباقي (٤٠ مليون طن) من

الغرين. وقد اشتقت معظم هذه المواد من تعرية الصخور البركانية في هضبة الحبشة، وهي غنية بالمعادن التي عملت على تخصيب الأرض الزراعية المصرية وتجديد خصوبتها كل عام، حينما كانت تنتشر فوقها مع مياه كل فيضان. وقد بدأ السد العالي منذ عام ١٩٦٧ في حجز مياه الفيضان، وأمامه يتم إرساب قدر هائل من المواد العالقة. ويحمل نهر المسيسيبي كل سنة نحو ٣٤٠ مليون طن من المواد العالقة، و ٤٠٠ مليون طن عن طريق الجرّ (حمولة القاع). ويقدر العلماء أن المياه الجارية تكتسح كل عام نحو ٥٠ طن من المواد الذائبة و ٣٠٠ طن من المواد الصلبة من كل ميل مربع واحد من سطح الأرض.

الارساب النهري:

يلقي النهر برواسبه حينما يقل حجم مياهه أو حينما تتناقص سرعته، ويقل حجم المياه في النهر في الحالات الآتية:

١- حينما يعبر النهر إقليماً جافاً فتتعرض مياهه للتبخر الشديد. ويعظم النبخر إذا اتسم الأقليم بالحرارة الشديدة إلى جانب الجفاف الشديد.

٢- إذا شق النهر أو جزء منه طريقه خلال منطقة تتركب من صخور مسامية كالصخر الرملي أو الحجر الجيري، فيتسرب قسم من مياهه خلال مسامها.

٣- حينما يحل فصل الجفاف، فلا تسقط في منابع النهر أو في حوضه أمطار تغذيه بالمياه.

وتتناقص سرعة النهر في الحالات الآتية:

١- عندما يمر ببحيرة متسعة، فتتوزع مياهه فيها وتضمحل سرعة تياره.

٢- حينما يدخل في حوض أو سهل فسيح مستوى أو هيّن الانحدار.

٣- عندما ينتهي إلى مصبه في بحر أو محيط.

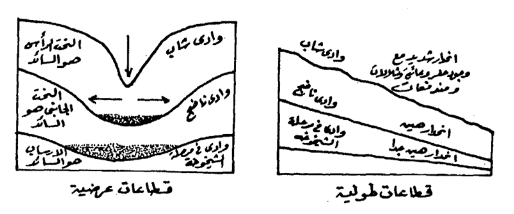
ويلقي النهر بحمولته من المواد الغليظة كالحصى في أول مرحلة من مراحل الإرساب. ويكون إرسابها في مجرى النهر نفسه أو على جوانبه، ولا يقتصر إرساب هذه المواد الخشنة على جهة معينة من وادي النهر دون الأخرى، ولكن معظمها يتم إرسابه في العادة في المجرى الأعلى للنهر. وفي مرحلة أخرى من مراحل الإرساب يلقي النهر بحمولته من المواد الدقيقة ثم الأدق، وينشرها فوق أرض الوادي في الفترات التي تفيض فيها مياهه، فتتكون بذلك طبقة من الغرين تكون أعظم سمكاً في المناطق التي تمتد على جانبي النهر. وهي في هذه المناطق تبدو على شكل جسور طبيعية.

الأودية النهرية

لكل نهر دورة حياة. فهو بعد مولده وتحديد مجراه، يستهل مرحلة شباب يكون خلالها قوياً، فتتدفق مياهه بسرعة في واد ضيق عميق شديد انحدار الجوانب يبدو في شكل حرف V . وتعترض قاعه الحفر الوعائية والجنادل والشلالات. ويعظم في هذه المرحلة فعل النحت الرأسي الذي يقوم بتعميق الوادي، وهي عملية يقوم بها النهر وحده.

وبمرور الزمن تعمل التعرية النهرية على توسيع الوادي وتعميق قاعه، كما يقل انحدار النهر، فتتناقص سرعة تياره، وتظهر المنحنيات في مجراه ويزداد وضوحها، ويكون النهر قد وصل حينئذ إلى مرحلة النضج. وأثناءها تزداد قدرة النحت الجانبي، وهي عملية يشترك فيها مع النهر فعل عوامل التجوية التي تعمل على تفتيت صخور جوانب الوادي.

وتستمر التعرية في عملها فيتسع الوادي اتساعاً عظيماً. ويقل الانحدار كثيراً فيضمحل النحت وتعظم عمليات الإرساب. ويلقى النهر بكميات هائلة من الرواسب ويبسطها فوق أرض الوادي كله فينشأ عن ذلك سهل فسيح هين الانحدار يعرف بالسهل الفيضي. ويترنح النهر في جريانه بطيئاً خلال منعطفات كبيرة، وقد ينفصل ويتفرع إلى عدة مجاري تجري في سهله الفيضي متجهة نحو المصب. ويصبح النهر حينئذ في مرحلة الشيخوخة. وقد ينشيء الإرساب النهري في منطقة المصب قطعة من الأرض مثلثة الشكل تعرف بالدلتا.



(شكل ١٠٤) مراحل دورة حياة نهر.

وتتمثل كل هذه المراحل الثلاث في كثير من الأودية النهرية العظيمة كالنيل والسند وإيراوادي. فالجزء من المجرى الذي يقع في منطقة المنبع

الجبلية، ويسمى بالسيل أو المجرى الأعلى، يمثل مرحلة الشباب. والجزء الأوسط من النهر الذي يعرف بالوادي يمثل مرحلة النضج. بينما تتمثل في الجزء الأدنى من النهر الذي يعرف بالسهل كل مظاهر مرحلة الشيخوخة. ولا يشترط بالضرورة أن تتمثل كل هذه المراحل الثلاث في كل الأنهار، فهناك من الأنهار ما تظهر فيها مرحلة واحدة أو مرحلتان فقط، ومنها الأنهار الجبلية التي تجري من المنابع الجبلية صوب البحر مباشرة.

الظاهرات المثالية لوادي النهر في مرحلة الشباب:

عرفناأن النهر في هذه المرحلة يكون قوياً شديد البأس، وأن النحت الرأسي يكون عظيماً. ونتيجة لذلك تنشأ ظاهرات تميز الوادي في هذه المرحلة. وهي الظاهرات التي نجدها في المجرى الأعلى للنهر، نجملها فيما يلي.

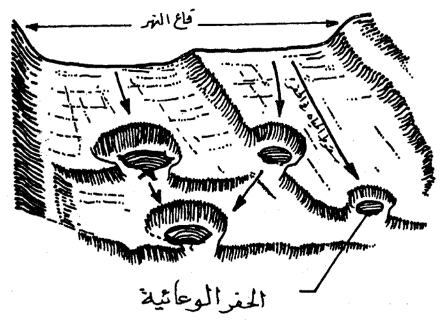
١ - الخوانق: يطلق اسم خانق Gorge على جزء من مجرى نهر يتميز بأنه شديد انحدار الجوانب وعميق بالنسبة لإتساعه. ويوجد الخانق النهري حيث يتغلب النحت الرأسي على النحت الجانبي، ومعظم المجاري العليا أو السيول الجبلية هي بمثابة خوانق، وخصوصاً عندما تجري على امتداد نطاق ضعف أصابه التكسر، ومثل هذه الخوانق نجدها بكثرة في المناطق الجبلية ومنها مرتفعات الألب.

وتنشأ الخوانق عادة في الصخور الصلبة، حتى تبقى جوانبها قائمة شديدة الانحدار دون أن تنهار، ومثلها خانق آري Aare الشهير قرب بلدة مايرينجين Meiringen في سويسرا، وهو يوجد حيث استطاع نهر الآري السريع الجريان أن يقطع مجراه خلال نطاق من الصخور الصلبة. وقد تنشأ حيث تقل الأمطار، فيقل فعل عوامل التجوية في جوانبها ومن ثم تتراجع

ببطء. ومثلها خوانق كلورادو، وسنيك ويلوستون، وتعرف في أمريكا الشمالية باسم كانيون Canyons . ويبلغ طول خانق الكلورادو العظيم زهاء ٥٠٠ كم وعمقه ما يقرب من ٢ كم. وهو يشق طريقه خلال طبقات صخرية أفقية تنتمي لعصور الزمن الأول، ووصل نحته الرأسي إلى الصخور النارية السفلى التي تنتمي إلى ما قبل الكبرى والتي تتركب منها قاعدة الهضبة. وتنشأ الخوانق أيضاً حينما يتعرض جزء من منطقة مجرى النهر لحركة أرضية رافعة، ويكون النهر من القوة بحيث يستطيع أن ينحت رأسياً بنفس معدل مقدار الرفع الذي تعانيه المنطقة، وهذا ما نجده ممثلاً في خوانق نهر السند في إقليم كشمير، وفي نهر براهما بوترا حيث يقطع طريقه من هضبة التبت إلى أقليم أسام، وفي خوانق الكانج. وكلها تبلغ عمقاً عظيماً يناهز ٥ كم. ويماثل هذه الخوانق في النشأة، وإن كان على نطاق أصغر، خانق الراين فيما بين مدينتي بينجين Bingen وبون Bonn حيث يشق النهر طريقه خلال مرتفعات الراين الوسطى. وتعرف هذه الأنهار عادة بالأنهار السالفة Antecedent . وهناك أسباب أخرى خاصة لتكوين الخوانق منها عمليات النحت الجليدية المائية، وتدهور أسقف الكهوف والمغارات المستطيلة في المناطق الجيرية.

٢- **الحفر الوعائية**: وهي عبارة عن منخفضات مستديرة الشكل توجد في قاع النهر. وتنشأ من تحرك الكتل الصخرية على القاع حركة دائرية متأثرة بقوة الدوامات المائية التي يكونها تيار النهر. وتؤدي هذه الحركة الدائرية إلى تآكل قاع النهر وإلى تكوين فجوات فيه هي التي تعرف بالحفر الوعائية Pot-holes (شكل ١٠٥).

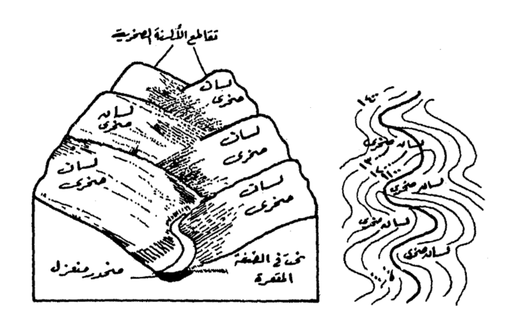
٣- **منعطفات الشباب**: وهذه تتكون أيضاً في مرحلة الشباب حينما يكون النحت الرأسي على أشده ودائباً في تعميق الوادي، ويتفادى النهر في



شكل (١٠٥) الحفر الوعائية.

جريانه العقبات الصخرية الصلبة التي تصادفه، فيتثنى ويتلوى من حولها منشأ لتلك المنعطفات، ويشتد النحت في ضفافها المقعرة مكوناً لجروف شديدة الانحدار، بينما يقل النحت أو ينعدم على الضفاف المحدبة المقابلة فيترك سفوحاً هينة الانحدار Slip-off-Slope (شكل ١٠٦).

٤ - الجنادل: وتنشأ نتيجة اختلاف في طبيعة الصخور التي يتركب منها قاع المجرى النهري. فالصخور الصلبة تقاوم عملية النحت بينما تتآكل الصخور اللينة. ومن ثم تبقى الصخور الصلبة ناتئة بارزة تعترض سير المياه. ومثلها الجنادل الستة التي تعترض مجرى النيل بين الخرطوم وأسوان. فقد نحت النيل مجراه رأسياً في الحجر الرملي النوبي إلى أن وصل في بعض المواقع إلى الصخور النارية القديمة التي تقع أسفله. وقد قاومت تلك الصخور الصلدة عملية النحت النهري، فظهرت بارزة من القاع منشئة لجزر صخرية صغيرة تقسم مجرى النيل عندها إلى أكثر من مجرى.



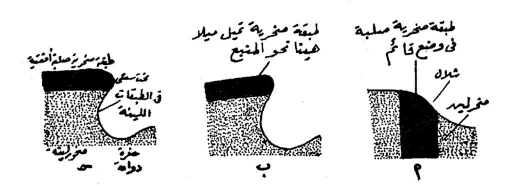
شكل (١٠٦) منعطفات الشباب.

٥- المساقط المائية أو الشلالات Water-Falls : وتنشأ نتيجة للأسباب الآتية:

(أ) عندما ينحدر مجرى النهر من جهة مرتفعة إلى أخرى منخفضة، كأن ينحدر من فوق هضبة تشرف على السهول من حولها بحافات حادة واضحة المعالم، ومثلها الهضبة الإفريقية. فنهر الكونغو ينحدر من حافتها من علو ٣٦٠ م في سلسلة متتابعة من المساقط عددها ٣٢، تعرف في مجموعها بشلالات ليفنجستون Livingstone . وينحدر نهر أورانج هو الآخر من الهضبة من علو ١٤٠ م عبر نطاق من المساقط تدعى أوجرابيس Aughrabies .

وهناك العديد من الشلالات الصغيرة في الأنهار الأمريكية التي تنبع من الأبلاش، وتجري إلى السهل الساحلي الأطلسي عبر خط من المساقط

Fall-Line ، ومثلها أنهار السويد التي تنبع من شرقي مرتفعات اسكنديناوه، وتتجه شرقاً عبر خط من المساقط يفصل بين الكتلة الاسكنديناوية والسهل الساحلي المطل على خليج بوثنيا وبحر بلطيق. ويلاحظ أن خطوط المساقط هذه وأمثالها توجد حيثما تلاقت تكوينات صخرية مختلفة التراكيب.



شكل (١٠٧) طريقة تكوين الشلال نتيجة لاعتراض طبقة صخرية صلبة لمجرى النهر في وضع قائم (أ)، أو في وضع مائل تجاه المنبع (ب)، أو في وضع أفقي (جـ).

(ب) إذا اعترضت طبقة صخرية صلبة مقاومة للتعرية لمجرى النهر، وكانت الطبقات الصخرية التي تقع أسفلها وحولها رخوة وأقل مقاومة للتعرية، حينئذ يتكون الشلال، نظراً لأن مياه النهر تنحت في الطبقات اللينة أكثر مما تنحت في الطبقات الصلبة، وينشأ عن ذلك اختلاف في منسوب المجرى، فتسقط المياه من مستوى مرتفع وهو مستوى الطبقة الصلبة، إلى مستوى منخفض وهو مستوى الطبقة اللينة المتآكلة. ويعمل احتكاك المياه الساقطة بقاعدة الشلال على نحت الصخور.اللينة السفلى، بينما تبقى الطبقة الصخرية الصلبة بارزة ومعلقة فوقها ثم لا تلبث أن تسقط نتيجة لثقلها وضغط المياه عليها. وتتكرر عملية النحت السفلى وسقوط أجزاء من الطبقة الصلبة باستمرار، ولهذا نجد أن الشلالات تتراجع دائماً نحو المنبع تاركة وراءها خانقاً (شكل ١٠٧).

وتعد شلالات نياجارا التي تقع في مجرى نهر السنت لورانس بين بحيرتي إيري وأونتاريو بأمريكا الشمالية مثلاً واضحاً لهذه الظروف. فالمنطقة التي تقع فيها المساقط تتركب من صخور سطحية صلبة من الدولوميت، ترتكز على صخور لينة من الشيل والحجر الرملي. وتنحدر مياه النهر من علو ٥٠ م على الجانب الأمريكي من تلك الشلالات، ويؤدي سقوط المياه إلى تكوين دوامات تؤثر في الصخور اللينة السفلى، بينما تظهر الصخور الصلبة السطحية بارزة معلقة فتتساقط. وقد نشأ عن ذلك وعن النحت الرأسي للمياه تكوين خانق يبلغ طوله أكثر من ١١ كم. وتتراجع هذه الشلالات نحو المنبع بمعدل يتراوح بين ٣٠- ١٨٠ سم كل عام.

(جـ) وتنشأ بعض المساقط المائية بسبب العيوب والانكسارات. وأكثر أنماطها شيوعاً ما يتكون نتيجة لبروز حافة إنكسارية صلبة قبالة كتلة صخرية أقل صلابة في اتجاه أدنى النهر، ويعزي تكوين شلالات فكتوريا (ارتفاعها ١٠٨ م) على نهر زامبيزي جزئياً لعمليات إنكسارية. فالنهر يجري فوق هضبة بازلتية تقطعها سلسلة من الصدوع عرضياً عند حوافها الشرقية مكونة بذلك نطاقات ضعف يسهل على المياه نحتها. وقد تراجعت المساقط مخلفة خانقاً يبلغ طوله زهاء ١٠٠ كم. والخانق متعرج المجرى بسبب تقاطع الصدوع بزوايا قائمة.

(د) ويشيع وجود الشلالات في الأقاليم التي تأثرت بفعل الجليد: فهناك من الأنهار الحالية ما كان الجليد يتحرك فيها بدل الماء، وقد عمل الجليد على حفر قيعانها بعمق، بينما لم يستطع حفر أودية روافدها بنفس العمق، لذلك تبدو عالية المنسوب «معلقة» بالنسبة لقاع الوادي الرئيسي. فلما تحولت الأنهار الجليدية وروافدها إلى أنهار مائية، وجدنا مياه الروافد تصل إلى النهر الرئيسي عبر سلسلة من الشلالات، ويكثر وجود هذا النوع في

مرتفعات الألب والروكي ومنها مسقط وادي يوس مايت Yosemite في ولاية كاليفورنيا، حيث تنحدر المياه من فوق سلسلة متتابعة من الشلالات يبلغ ارتفاعها الكلي نحو ٧٧٠ م.

الظاهرات المثالية لوادي النهر في مرحلة النضج:

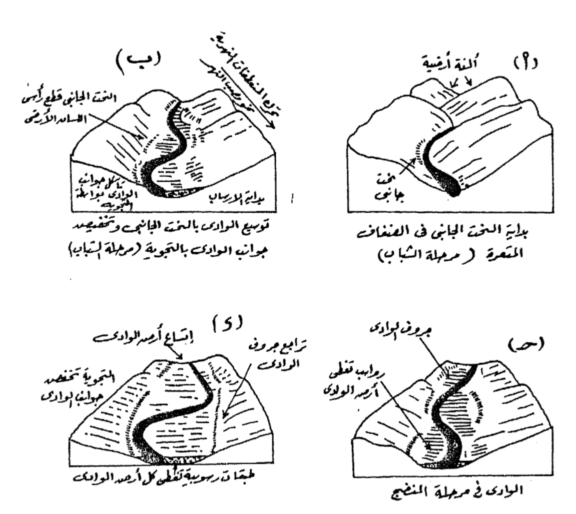
ويتميز النهر في مرحلة النضج بظاهرات معينة نجدها أيضاً في المجرى الأوسط الذي يعرف بالوادي. وإليك مميزات وادي النهر في تلك المرحلة:

١- يصبح وادي النهر أكثر اتساعاً، نظراً لأن النحت الجانبي يزداد قوة.

٢- يقل الانحدار فتتناقص سرعة التيار عنها في مرحلة الشباب.

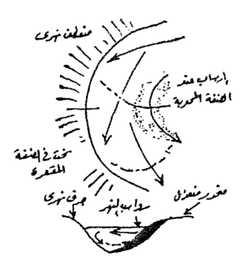
٣- يزداد وضوح منعطفات الشباب فتبرز الضفاف المقعرة قائمة مكونة لجروف نهرية river cliffs، بينما تنحدر الضفاف المحدبة انحداراً هيناً مكونة لسفوح رسوبية.

ويمكننا التعرف على أدوار تكوين المنعطفات إذا ما تتبعنا الأشكال المجسمة (شكل ١٠٨ أ، ب، جـ، د). ففي الشكل رقم (١٠٨ أ) نرى منعطفات الشباب: فالنهر يتفادى الكتل والألسنة الصخرية فيدور حولها في هيئة أقواس، ونشاهد التعرية الجانبية وقد بدأت عملها في الضفاف المقعرة، وفي الشكل رقم (١٠٨ ب) نرى جوانب الوادي وقد تآكلت وانخفض مستواها بفعل التجوية كما تآكلت أطراف الألسنة الصخرية Spurs بفعل النحت الجانبي. وقد ترتب على ذلك أن أصبح الوادي أكثر اتساعاً، كما ازدادت أهمية الإرساب على الضفاف المحدبة.



شكل رقم (١٠٨ أ، ب، جـ، د) النحت الجانبي وتوسيع الوادي.

وفي الشكل رقم (١٠٨ حـ) نلحظ الوادي وقد أصبح ناضجاً فهو يبدو متسعاً تكتنفه الجروف، كما تغطي الرواسب معظم أرضيته. وفي الشكل رقم (١٠٨ د) نشاهد الوادي وقد اكتمل نضجه تماماً، وأخذ في الاقتراب من مرحلة الشيخوخة، وأنشأ النحت الجانبي وادياً عريضاً تغطي أرضه كلها طبقات من الرواسب، وتتضح بداية تكوين السهل الفيضي. كما نرى منعطفات الشيخوخة وهي تقطع الوادي بجميع اتساعه من جانب إلى جانب (أنظر شكل ١٠٩ لتتعرف على عمليتي النحت والإرساب في جانبي المنعطف).



شكل (١٠٩) النحت والإرساب في ضفتي المنعطف Meander.

الظاهرات المثالية لوادي النهر في مرحلة الشيخوخة:

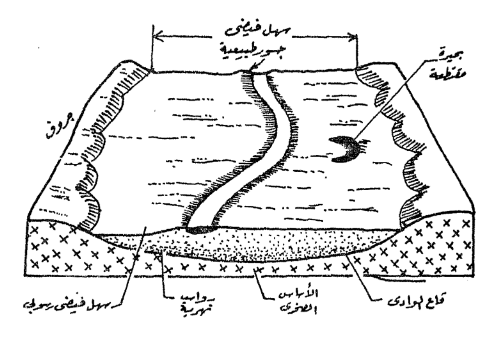
في هذه المرحلة يجري النهر بطيئاً مترنحاً في سلسلة من المنعطفات Meanders فوق واد عريض تحف به حافات صخرية منخفضة. ويصبح للإرساب أهمية كبرى، بينما يتوقف النحت الرأسي باستثناء عملية شق المجرى خلال السهل الفيضي.

وأهم الظاهرات التي تتسم بها مرحلة الشيخوخة والتي نجدها في المجرى الأدنى للنهر ما يلي:

١ - السهل الفيضي **Flood Plain**: ويمر تكوينه بالأدوار الآتية:

الدور **الأول** يتمثل في عملية توسيع الوادي عن طريق النحت الجانبي، ويتم ذلك في مرحلة النضج. والدور **الثاني** يتمثل في عملية الإرساب التي تحدث على الجوانب المحدبة للمنعطفات، فينشأ عن ذلك ظهور ضفاف أو شطوط إرسابية. وبتوالي تحرك المنعطفات على أرض الوادي، تتغطى كلها

بغطاء من الرواسب. وتبدأ تلك العمليات في مرحلة النضج. وتستمر في مرحلة الشيخوخة. والدور الثالث يميزه إرساب الغرين والطين على أرض الوادي. ويحدث ذلك حينما يفيض النهر ويطغى على جسوره، فينشر تلك الرواسب على جميع أرض الوادي وتلك هي العملية الأخيرة في تكوين ونمو السهل الفيضي (شكل ١١٠).



شكل رقم (١١٠) السهل الفيضي

وتتميز السهول الفيضية عادة بعظم سمك رواسبها، ففي وادي النيل الأدنى على سبيل المثال لم تصل أعمال حفر الآبار رغم عمقها إلى القاعدة الصخرية التي ترتكز عليها الرواسب النيلية. وفي موسم كل فيضان يستطيع النهر أن يوزع طبقة رقيقة من الرواسب الغرينية فوق سهله الفيضي. وهي ظاهرة لها أهميتها الخاصة بالنسبة للزراعة في أودية الأنهار الكبرى، نظراً لأنها تجدد خصوبة الأرض،كما كان الحال بالنسبة لنهر النيل قبل إنشاء

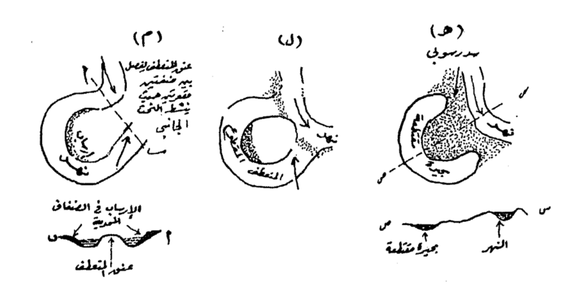
السد العالي، وكما هي الحال بالنسبة لنهري دجلة والفرات وللأنهار الآسيوية حيث يعتمد مئات الملايين من السكان على زراعة الأرز.

٣ - البحيرات المقتطعة Ox-bow Lakes : عرفنا أن النهر في مجراه الأدنى يسير مترنحاً فوق سهله الفيضي الفسيح المنبسط. وتلك ظروف ملائمة لوجود المنعطفات، فتيار النهر يكون بطيئاً، فلا تستطيع المياه التغلب على ما يصادفها من تكوينات صخرية صلبة، فتضطر إلى تفاديها باللف حولها، فتنشأ لذلك منعطفات «الشيخوخة». وحين تنظر إلى الشكل (١١١) نجد منعطفاً نهرياً وقد اقتربت ضفتاه المقعرتان من بعضها نتيجة لنحت المياه فيها، ونلاحظ وجود عنق من اليابس يفصل بينهما نسميه «عنق المنعطف».

وفي الشكل (١١١ ل) نجد مياه النهر وقد نجحت بالنحت في اختراق عنق المنعطف مكونة لنفسها مجرى جديداً قصيراً بدلاً من مجرى المنعطف الذي كانت تسير فيه من قبل،ويحدث ذلك غالباً في موسم الفيضان. ويسمى المنعطف حينئذ بالمنعطف المقطوع Cut-off نظراً لأنه قد اقتطع من المجرى النهري.

وفي الشكل (١١١ هـ) نرى النهر وقد كون سداً رسوبياً يفصل المجرى الجديد عن طرفي المنعطف المقطوع، فيبدو الأخير على شكل بحيرة هلالية الشكل تسمى «البحيرة المقتطعة» لأنها اقتطعت من مجرى نهر. وبعد تكوينها يظل الإرساب مستمراً فوق قاع النهر وعلى ضفافه، فيعلو مستواها بالتدريج عن مستوى البحيرة المقتطعة. وهذا ما نشاهده في القطاع س-ص.

ويكثر وجود المنعطفات والبحيرات المقتطعة في المجاري الدنيا للأنهار



شكل (١١١ م. ل. هـ) كيفية تكوين البحيرة المقتطعة.

الكبيرة، ومثلها نهر المسيسيبي وميكونج (كامبوديا) وهـوانجهو (الصين)، وحين ننظر إلى خريطة لمجرى النيل في مصر نلاحظ وجود منعطفات تزداد عدداً في مجرى فرعي رشيد ودمياط. ولكننا لا نرى بحيرات مقتطعة في وقتنا الحالي ولا ينتظر تكوينها في المستقبل، لأن مصر تتحكم في مجرى النهر فلا تسمح له بالجري على طبيعته، فهي تعرقل النحت بتقوية الجسور وإقامة الرؤوس من الأحجار في ضفاف المنعطفات التي يشتد فيها التيار، حتى لا تطغي المياه على الأرض الزراعية. ومع هذا فإنه يتضح من دراسة خريطة محافظة القليوبية أن هناك بحيرة مقتطعة كانت متصلة من قبل بفرع دمياط، وهناك قرية تقع في غربها بينها وبين فرع دمياط تسمى جزيرة الأعجام. ولا شك أن أمثال هذه البحيرة كان موجوداً من قبل، لكنها جفت وسويت وأضيفت إلى الأرض الزراعية.

٣- **الجسور الطبيعية وإطماء المجرى:** يتم تكوين الجسور الطبيعية وإطماء المجرى (أي رفع قاعه بالإرساب) على النحو الآتي:

(أ) يحدث الإرساب على ضفتي نهر في مرحلة الشيخوخة (المجرى الأدنى للنهر) أثناء موسم الفيضان وذلك لبطء سرعة التيار عند جانبي المجرى. ومع كل فيضان يزداد سمك الرواسب فيرتفع منسوب الضفاف وبذلك تتكون الجسور الطبيعية Natural Levees ،

(ب) يحدث الارساب فوق قاع النهر خصوصاً في زمن التحاريق، ومن ثم يرتفع منسوب القاع.

(جـ) وبمرور الزمن وبتكرار الارساب فوق قاع المجرى وضفافه، يصبح النهر وقد ارتفع منسوبه فوق مستوى سهله الفيضي.

وتعتبر مثل هذه الأنهار التي تجري على منسوب يعلو مستوى سهولها الفيضية مصدر خطر وتهديد لمناطق العمران التي تحف بها. ففي موسم الفيضان العالي قد تجتاح هذه الأنهار جسورها وتطغى المياه على سهولها الفيضية، فتحدث الكثير من التخريب والتدمير. ولقد بذل الكثير من الجهود والمحاولات لتقوية وتوسيع الجسور الطبيعية على امتداد كثير من الأنهار كالنيل ودجلة والفرات، وأنهار إقليم فين Fen في شرقي انجلترا، والبو Po في شمال إيطاليا الذي فاض فيضاناً مدمراً في شتاء ١٩٥١ - ١٩٥٢، ونهر المسيسبي. وهذه المحاولات عادة ما تزيد الأمر سوء لأن النهر يستمر في الإطماء ورفع قاعه، ومن ثم يزداد ارتفاع منسوبه عن الأرض المحيطة، ويزداد بالتالي خطره. ومن بين الأنهار الخطرة الهوانجهو (الأصفر)، وهو الشهير الذي يوصف بأنه مصدر « الأسى للصين » لكثرة ضحايا فيضاناته الخطرة. ففي عام ١٨٥٢ حطم ضفافه ونقل مصبه مؤقتاً مسافة تقرب من ٥٠٠ كم من شمال شبه جزيرة شانتونج إلى جنوبها. وقد قدر عدد ضحاياه من الغرقى والمفقودين بما يزيد على مليون نفس. وفي عام ١٩٣٨ أثناء النزاع

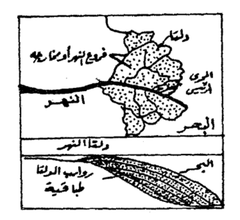
بين الصين واليابان حول مجراه الأدنى إلى الجنوب لأغراض استراتيجية، ولم يعد لمجراه الشمالي حتى عام ١٩٤٧.

وتقوية الضفاف وتعليتها ليست في الواقع عملية ناجحة على المدى الطويل للوقاية من أخطار الفيضان، فهناك وسائل أخرى يمكن اللجوء إليها للوصول إلى هذا الهدف وهي: زراعة الغابات فوق المنحدرات الشديدة للتحكم في تدفق المياه في أعالي النهر، واستخدام الأودية العليا بمثابة خزانات لحجز مياه الفيضان، وشق قنوات خلال أعناق المنعطفات حتى يستقيم مجرى النهر ويقصر، فيشتد انحداره وتزداد سرعة تياره ومن ثم يقل إرسابه.

وقد واجه الهولنديون صعاباً جمة للتحكم في مياه الأنهار، نظراً لأن أرض هولندا تتكون في معظمها من سهل فيضي متحد كونته ثلاثة أنهر هي الراين وفروعه العديدة، والماس (أو الميز) والشيلد (أو أسكوت)، وجميعها تجري بطيئة التيار كثيرة المنعطفات الكبيرة فوق الأرض الهولندية المنخفضة المنسوب (في بعض المناطق دون منسوب البحر)، فضلاً عن فيضاناتها التي تسببها غزارة الأمطار وذوبان الثلوج في مرتفعات وسط أوربا. ويمثل كفاح الشعب الهولندي لحماية أرضه من غوائل الفيضان وغارات البحر قسماً كبيراً وهاماً من تاريخه. فقد عمل على استقامة المجاري النهرية وفصلها عن بعض، وشق مصبات جديدة لها إلى البحر، وإنشاء السدود لخزن قسم من مياه الفيضان لزمن موقوت، وإقامة جسور صلبة بعيداً عن المجاري الرئيسية.

٤- الدالات البحرية **Marine Deltas** : تنشأ الدالات البحرية من إرساب حمولة النهر وتراكم موادها عند مصبه في بحر أو محيط. وهي على

عدة أشكال. فمنها ما يشبه القوس Arcuate أو المثلث كدلتا النيل والكانج والسند وإيراوادي والبو والهوانجهو والرون؛ ومنها نمط مدبب Cuspate كدلتا التايير Tiper (ايطاليا)؛ ومنها ما يتخذ الشكل الإصبعي الذي يشبه قدم الطائر Bird's Foot ومثلها دلتا المسيسبي.



شكل (١١٢) تكوين الدلتا.

وتتكون الدالات في ثلاث مراحل:

في الأولى: يحدث الإرساب، ويتفرع المجرى الرئيسي إلى عدة فروع أو مخارج نهرية تحف بها شطوط وجسور طبيعية، وتنشأ ألسنة وحواجز رسوبية، كما تتكون بحيرات ساحلية تفصل بينها جسور طينية.

وفي الثانية: تبدأ البحيرات في الإمتلاء بالرواسب، وتتحول بعض أجزائها إلى مستنقعات ضحلة، وتتسع الدلتا ويكبر حجمها.

وفي الثالثة: تصبح الأجزاء القديمة من الدلتا وقد غطتها النباتات الطبيعية ويعلو مستواها تبعاً لذلك، وأيضاً باستمرار الارساب أثناء الفيضان. وتختفي المستنقعات بالتدريج. وتصبح هذه الأجزاء القديمة جافة صالحة للسكن وللاستغلال الاقتصادي.

وتنقسم طبقات الرواسب التي تتألف منها الدلتا إلى ثلاث مجموعات: أولاها من أسفل تتكون من المواد الدقيقة التي دفعها تيار النهر وأرسبها في البداية على القاع قبل تكوين الدلتا الرئيسية، وتعرف بالطبقات السفلى Bottom set. ومن فوقها تراكمت بالتدريج طبقات رسوبية مائلة تبعاً لطبيعة الانحدار من اليابس نحو قاع البحر، وتنتظم هذه الطبقات بحيث تقع الطبقة الأحدث فوق وأمام الطبقة الأقدم، ومن ثم تتقدم الدلتا باستمرار صوب البحر. وتعرف هذه المجموعة باسم الطبقات الأمامية Fore-set، وفي النهاية تتراكم الرواسب الدقيقة ابتداء من الهوامش المواجهة لليابس في شكل غطاء رسوبي يتصل بالسهل الفيضي للنهر مكونة بذلك لما يعرف بالطبقات العليا Top-set شكل (١١٢).

وتنمو الدالات وتتسع رقعتها على حساب البحر كل عام. وهي تختلف في درجة نموها، فبعضها ينمو أسرع من الأخرى إذا ما توافرت ظروف إرساب أنسب. مثال ذلك دلتا المسيسيبي التي تتقدم في خليج المكسيك بمعدل ٧٦ م كل سنة، بينما تنمو دلتا البو في البحر الأدرياتي بمعدل ١٢ م أما دلتا النيل فقد توقف نموها تقريباً بسبب إنشاء السد العالي.

شروط تكوين الدالات: ينبغي لتكوين الدالات ولاستمرار نموها توافر شروط معينة هي:

١- أن تكون حمولة النهر كبيرة، وهذا يعني أن تكون التعرية النهرية نشيطة قوية في مجراه الأعلى.

٢- أن يكون الجزء الأدنى من النهر في مرحلة الشيخوخة، حتى يكون تياره بطيئاً فيرسب معظم حمولته عند المصب. إذ أن النهر السريع الجريان يستطيع دفع رواسبه بعيداً في عرض البحر. وهناك حقيقة طبيعية

كيميائية تساعد على ارساب المواد عند المصب، مؤداها أن الذرات الصلصالية الدقيقة التي تحملها مياه النهر العذبة فرادي، تتعقد وتتلاحم ببعضها عند اختلاطها بمياه البحر المالحة، ومن ثم يزداد ثقلها فترسب.

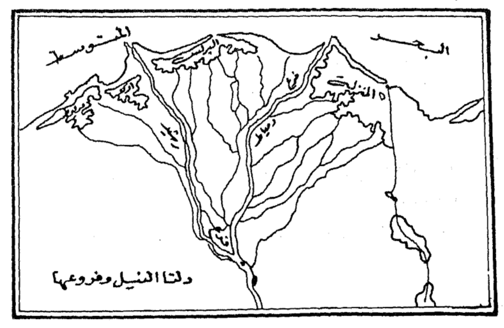
٣- أن تكون منطقة المصب هادئة خالية من التيارات البحرية والأمواج العاتية وحركات المد والجزر حتى لا تحرك الرواسب وتنقلها بعيداً عن منطقة المصب. فكثير من الدالات العظيمة قد تكونت ونمت في البحر المتوسط الذي يتميز بضعف حركة المد والجزر وقلة مداها، ومنها دلتا النيل والبو والرون. ورغم هذا فمن الممكن أن تتكون الدالات أيضاً في البحار والمحيطات التي تحدث بها حركة مد وجزر واضحة، ومثلها دلتا الكلورادو في خليج كاليفورنيا، ودلتا الكانج ودلتا إيراوادي في المحيط الهندي. فعند مصب كل من هذه الأنهار تحدث حركة مد وجزر قوية، ولكن في كل هذه الحالات يرسب النهر مقداراً من الرواسب يفوق بكثير ما يمكن لتيار المد والجزر إزالته.

٤- أن تكون البحيرات التي تعترض مجرى النهر قليلة أو معدومة حتى لا يرسب النهر فيها حمولته، فلا يصل منها إلى المصب إلاّ قليلاً.

٥- أن تكون منطقة المصب ضحلة غير عميقة وغير آخذة في الهبوط، فتنمو الدلتا بسرعة. وتعاني بعض الدالات من هبوط تكتوني بطيء، ومنها دلتا الميسيسبي. ولكن مقدار الرواسب التي يأتي بها النهر كل عام ويرسبها في منطقة الدلتا أعظم سمكاً من مقدار الهبوط، ولهذا فإن سطح الدلتا يرتفع باستمرار، كما يزداد تقدمها في البحر عاماً بعد عام.

دلتا النيل: كانت أرض دلتا النيل في بداية عصر البلايوستوسين ما تزال مغمورة بمياه البحر المتوسط. ثم أخذت تظهر فوق مستوى الماء

تدريجياً بفضل ما كان يلقيه النهر في البحر من تكوينات الحصى والرمال وبدأ نموها من الجنوب نحو الشمال، وفي أواخر ذلك العصر كانت الدلتا قد كسبت على حساب البحر نحو ٩٠ كم شمال خط عرض القاهرة. وفي العصر الجيولوجي الحديث نمت الدلتا وتقدمت في البحر حتى وصلت إلى مداها الحالي. وتغطي أرض الدلتا حالياً طبقة من الطمى يبلغ سمكها نحو ١٠ م أرسبتها مياه الفيضان ويقدر عمرها بنحو ١٠,٠٠ سنة. وتتألف من حبيبات دقيقة من مواد معدنية تختلط فيها الرمال بنسب صغيرة. وترتكز هذه الطبقة على طبقات سفلى أقدم منها عمراً. وقد ساعدت كثرة الرواسب التي كان يلقيها النيل عند مصبه بالإضافة إلى قلة المد والجزر في البحر المتوسط على سرعة تكون الدلتا ونموها. وهي دلتا ناضجة تقل بها المستنقعات، وإن كانت البحيرات الساحلية ما تزال تكتنف هوامشها الشمالية، وهي من الشرق إلى الغرب: المنزلة والبرلس وإدكو ومريوط (شكل ١١٣).

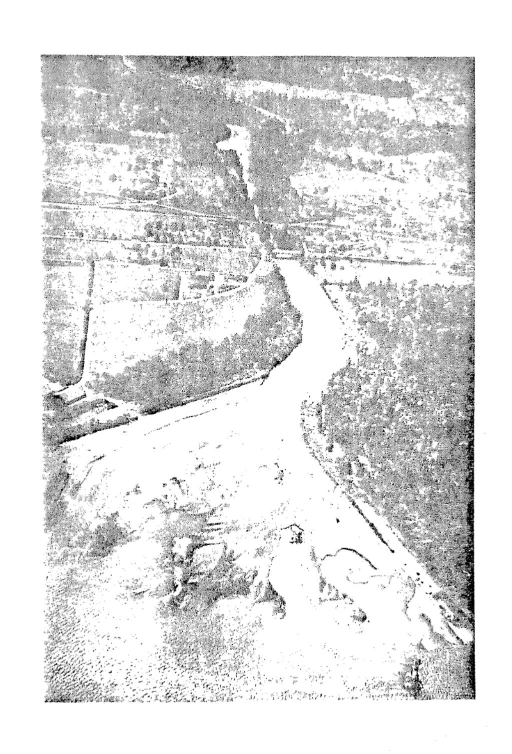


شكل (١١٣) دلتا النيل وفروعها.

وقد كان يجري بالدلتا عدة فروع للنيل فيا مضى، وكانت تصب في البحر بسبعة مصبات، ولكنها اندثرت وزالت بالتدريج. ويتفرع النيل حالياً إلى الشمال من القاهرة إلى فرعين رئيسيين هما: فرع دمياط وفرع رشيد. والأول أطول من الثاني، إذ يبلغ طوله من القناطر الخيرية حتى البحر المتوسط ٢٤٢ كم، بينما يقل فرع رشيد عن ذلك بنحو ٦ كم. وفرع رشيد أهم من فرع دمياط في اتساع مجراه وفي مقدار ما يحمله من مياه، فبينما يبلغ متوسط اتساع فرع رشيد ٥٠٠ م، إذ بفرع دمياط يضيق إلى ٢٧٠ م. وتكثر بالفرعين الجزر والمنعطفات نظراً لبطء جريانها، إذ أنهما ينحدران من علو ٢٠ م فقط عند القاهرة على امتداد طولها حتى البحر.

دلتا الرون: يتفرع الرون إلى الشمال من بلدة آرل Arles بقليل إلى فرعين هما: الرون الكبير وهو الأهم، والرون الصغير. وهما يحددان معالم دلتاه المثلثة الشكل. ويتميز الفرعان بشدة بطء جريانها، ولذا فهما كثيراً الالتواء والانحناء، فالرون الكبير ينحدر من بلدة آرل على ارتفاع ١,٨ م انحدار بطيئاً على امتداد طوله البالغ نحو ٥٠ كم إلى البحر. وقد كان يجري بالدلتا فروع قديمة هجرتها المياه، ويمكن الاستدلال عليها بواسطة الشطوط والجسور الرملية التي تكتنف أرض الدلتا.

وفيما بين الفرعين الحاليين يقع إقليم كامارج Camargue الذي تغطيه المستنقعات الضحلة التي سبق اقتطاعها من البحر وانعزلت عنه بواسطة الحواجز والكثبان الرملية. ولا يزيد عمق مستنقع فاكارى Vaccares عن متر واحد. وقد جرى استصلاح الجزء الشمالي من إقليم كامارج، وزرعت به أشجار السرو والأثل، كما استغلت أجزاء منه للرعي ولزراعة الأرز. وإلى الشرق من الرون الكبير يقع سهل كرو Crau ، وهو أشبه بمثلث يحتل الزاوية المحصورة بين النهر الرئيسي ورافده دورانس Durance . وتغطيه



شكل (١٠٤) دلتا نهر كاند البحيرية

طبقة من الحصى والرمال أرسبها نهر دورانس حينا اتصل بالرون وكونا معا دلتا متحدة. ويمكن اعتبار سهل كرو مثالاً لدلتا قديمة جافة.

الدالات البحيرية **Lacustrine Deltas:** يرسب النهر قسماً كبيراً من حمولته في بحيرة تعترض مجراه أو ينتهي إليها مصبه. فهو حين يصل إليها يتسع مجال تيار مياهه فجأة فيضعف، ويلقي برواسبه مكوناً الدلتا، ومثلها دلتا نهر كاندر Kander في بحيرة تون Thun بسويسرا (شكل ١١٤). وأوضح منها دلتا الرون في بحيرة جنيف. فبعد أن يمر النهر بمدينة مارتني Martigny يشق طريقه خلال سلاسل جبال بيرنر Berner Oberland الجيرية في خانق سان موريس الذي يبلغ طوله زهاء ٢٠ كم. والنهر في هذه الشقة من مجراه شديد التدفق سريع الجريان عظيم الحمولة. وعند بلدة Bex ينفتح واديه ويضمحل انحداره فجأة. وهنا كان الإرساب يبدأ في بحيرة جنيف التي كانت بلا ريب تمتد فيما مضى حتى بلدة بيكس. وقد ملأت الرواسب جزء البحيرة من هذه الجهة بالتدريج إبان فترات طويلة من الزمن، وهو الجزء الذي يتميز حتى وقتنا الحاضر بوجود المستنقعات. وعلى الرغم من أن يد الإنسان قد امتدت إلى مجرى النهر في هذه الشقة بالتنظيم والتهذيب، إلاّ أنه ما يزال متعدد المجاري braided حول الجزر الرسوبية. ويكثر بالمنطقة وجود البحيرات المقتطعة والمجاري الراكدة التي هجرتها مياه النهر. وما تزال الدلتا دائبة في نموها على حساب البحيرة. ويشاهد التفاوت واضحاً بين مياه النهر التي تبدو بلون رمادي عند مدخله في البحيرة، وبين المياه الصافية عند مخرجه في نهايتها الغربية. وتتضح من الجو أسفل المياه الصافية تلك الشطوط الرسوبية التي تعتبر بمثابة امتداد للدلتا فوق قاع البحيرة.

وإذا جاز لنا اعتبار بحر قزوين بحيرة كبيرة فيمكننا حينئذ أن نضيف إلى أمثلة الدالات البحيرية تلك الدالات العظيمة التي أنشأتها فيه أنهار الفولجا وأورال وكيورا Kura .

ومثل هذه البحيرات مهما كبر حجمها مآلها إلى الزوال بدوام الارساب، سواء منها ما اعترض مجرى النهر أو انصبت مياهه فيها. وقد أمكن الاستدلال على بعض من تلك البحيرات القديمة التي كانت تعترض المجاري المائية فيما مضى والتي امتلأت بالرواسب وانصرفت مياهها، وأصبحت الأنهار تتدفق في أماكنها خلال مجاري محدودة الجوانب. ومنها بحيرة « السد » التي يقال إنها كانت تحتل رقعة عظيمة من حوض النيل قدرت مساحتها بنحو ۲۳۰۰۰۰ كم^{2}، وبلغ أقصى عرض لها ٥٣٠ كم، وأقصى طول لها ١٠٥٠ كم فيما بين بلدة شمبي على بحر الجبل وخانق شبلوكة شمال الخرطوم. وكان يصب فيها النيل الأزرق والسوبات وبحر الجبل ومجموعة بحر الغزال وبحر العرب. وقد أمتلأت بالرواسب التي كانت تجلبها تلك الأنهار، وانصرفت مياهها خلال خانق شبلوكة متجهة نحو الشمال إلى النيل النوبي فالنيل الأعظم.

الدالات المروحية والمخروطية Fans and Cones: وهي تشبه في طريقة تكوينها الدالات البحرية والبحيرية. ولكنها تختلف عنها في أنها تتكون على سطح اليابس. فحيما يتدفق سيل فوق منحدر جبلي ويصل إلى حضيض الجبل ويصادف أرضاً واسعة منبسطة، فإنه يلقي بحمولته من الرواسب التي تنتشر فوقها في شكل مروحة، وقد تتخذ الرواسب شكل المخروط إذا كانت الأراضي التي انتشرت فوقها الرواسب شديدة الانحدار نسبياً. ويكثر وجود الدالات المروحية والمخروطية في الأقاليم الشبه صحراوية. ففيها تحمل السيول القصيرة العمر

كميات كبيرة من المواد الصخرية ترسبها في شكل مروحي أو مخروطي. ومن أمثلتها دلتا خور الجاش وخور بركة بالسودان، والمخروط الضخم الذي كونته السيول الجبلية والذي يتاخم الجانب الشرقي من وادي ماديسون Madison في جنوب ولاية مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية.

وحين يهبط في الأقاليم الشبه جافة عدد من المجاري المائية المتوازية والمتقاربة من نطاق جبلي إلى حضيضه السهلي، يتكون عدد من الدالات والمخروطات المتجاورة، وهذه ما تلبث بمرور الوقت وتوالي الإرساب أن تتلاحم وتتحد ببعضها مكونة لسهل رسوبي خصيب Piedmont alluvial plain يعرف باسم باجادا Bagada. ومثله ما يوجد في الوادي الأوسط بكاليفورنيا، حيث استطاعت المسيلات المائية التي تتدفق من المنحدرات الغربية للسييرا نفاذاً حين تسقط عليها أمطار الشتاء الغزيرة، أن تكون عدة مراوح فيضية، إتحدت ببعضها مكونة لسهل خصيب هين الانحدار، وهو يزرع عن طريق الري الصناعي.

وتنشأ المراوح والمخروطات أيضاً في الجهات الرطبة، وذلك حينما تنحدر السيول الجبلية من المرتفعات المتاخمة لوادي نهر رئيسي وتصل إليه. ويحدث هذا على الخصوص حينما تشغل السيول أودية معلقة تتدفق المياه منها إلى القاع الحوضي لواد جليدي النشأة فترسب حمولتها في هيئة مروحة أو مخروط. ويوجد الكثير منها في وادي الرون وأعالي الآري بسويسرا، وفوقها تقوم القرى ومحلات الاستقرار لتكون بمأمن من أخطار الفيضان.

ومن المراوح ما هو قديم نشأ في أثناء أدوار أكثر نشاطاً من النحت والإرساب النهري. مثال ذلك ما يشاهد على امتداد الجانب الفرنسي من مرتفعات البرانس الوسطى، حيث توجد مروحة مركبة ضخمة تكونت من

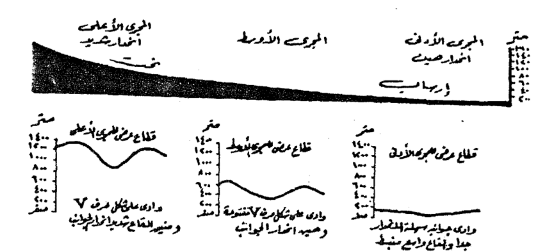
اتحاد عدة مراوح، تبدو الآن في هيئة هضاب قطعتها روافد الجارون والأدور Adour . وما تزال المواد تترسب فوقها مع فيضانات الشتاء والربيع. وقد تكونت أصلاً في أواخر الزمن الثالث، وازدادت ضخامة واتساعاً في أثناء الزمن الرابع.

شطوط المصبات الخليجية: تدخل دراسة المصبات النهرية الخليجية التي تتأثر بحركات المد والجزر في دراسة السواحل والتعرية البحرية، ونحن نشير إليها هنا على أساس أنها مسرح لعمليات الإرساب النهري. فكثير من حمولة النهر يتم إرسابها هنا رغم أن المواد الدقيقة يجرفها تيار النهر بعيداً لعدة كيلو مترات في عرض البحر، كما هي الحال عند مصب نهر الأمزون ونهر الكونغو. ولا تتكون الدالات البحرية أمام مثل هذه المصبات التي تتميز عادة بقوة تيار مياه النهر وبعظم الفرق بين منسوبي المد والجزر، وإنما تنشأ جسور أو شطوط مصبية Estuarine banks . وتتوقف طبيعة المواد وانتشارها على عدة عوامل أهمها: ١- مدى سرعة تيار النهر وقوة تيارات المد والجزر. ٢- شكل المصب الخليجي، فقد يبدو في شكل عنق الزجاجة، ومن ثم تغسله تيارات المد والجزر القوية وتكتسح منه الرواسب، كمصب نهر الميرزى Mersey بغرب انجلترا (جنوب ليفربول)؛ أو قد يكون عريضاً مفتوحاً كمصب نهر دي Dee (غرب انجلترا جنوب المصب السابق) فيكون أكثر عرضة للإرساب. ٣- عامل اصطناعي، فقد تستلزم حركة الملاحة تطهير المصب من الرواسب وبناء حواجز لتهذيبه.

القطاع الطولي للنهر

يقصد به القوس الذي يمثل انحدار المجرى من منبع النهر إلى مصبه (شكل ١١٥). ويجاهد كل نهر ويركز نشاطه في الوصول إلى انحدار عام لمجراه، بحيث يكفي هذا الانحدار لإعطاء تيار النهر سرعة تسمح بتوازن عمليات النحت والإرساب. فحينما تصل مياه النهر إلى جزء من أجزائه وهي تفتقر إلى مزيد من الحمولة بالنسبة لهذا الجزء من المجرى، فإنها تنحت في القاع، وبهذه الوسيلة تضاف المواد المنحوتة إلى حمولة النهر. وتتناقص عملية نحت القاع Degradation في أدنى هذا الجزء من المجرى بسبب ازدياد الحمولة، فيقل الانحدار بالتدريج، وتبعاً لذلك تخف قوة النحت عموماً على امتداد هذا الجزء إلى أن يصل النهر إلى سرعة معينة تسمح بتوازن بين النحت والإرساب بالنسبة لهذا الجزء من المجرى. وإذا وصلت مياه النهر إلى جزء آخر من مجرى النهر فيه تكون حمولة المياه كبيرة، بحيث لا تتناسب مع انحداره وسرعة تياره فإن الإرساب يحدث في أعاليه، ويقال إن النهر في هذه الحالة يرسب Aggrading . ونتيجة للارساب Aggradation يعلو القاع، فيشتد انحدار هذا الجزء من المجرى، وتزداد سرعة تياره بحيث تصبح كافية لمجرد نقل حمولته. وفي كلتا الحالتين ترى أنه حينما يصل القطاع الطولي للنهر بواسطة نحت القاع أو بواسطة الإرساب إلى انحدار معين منتظم يكفي لإعطاء النهر مجرد سرعة تكفي لمجرد تحريك حمولته، فإن قطاعه في هذا الجزء أو ذلك يسمى حينئذ بالقطاع المتعادل Graded Profile أو بقطاع التوازن Profile of equilibrium .

وحين نبدأ من هذا المثال الخاص بجزء أو بآخر من النهر فإنه من الممكن ولو من الوجهة النظرية أن نطبق نفس المبادىء والأسس على كل



شكل (١١٥) القطاع الطولي للنهر، والقطاعات العرضية للأجزاء الثلاثة من مجراه.

قطاع المجرى النهري من منبعه إلى مصبه. فإذا حدث وتماثلت سرعة التيار وقدرة النحت على جميع المجرى، فإن قطاعه المتعادل يصبح خطاً مستقيماً، وهذا مستحيل، فالنحت قرب المنبع يكون أقل من المتوسط بسبب صغر كمية المياه والحمولة، وهو أيضاً أقل من المتوسط في المجرى الأدنى بسبب عظم الحمولة، بينما يبلغ النحت أقصاه في المجرى الأوسط. وتبعاً لذلك يصير قطاع المجرى إلى ما يشبه القوس فتكون بدايته مرتفعة عند المنبع، ونهايته منخفضة عند مستوى البحر الذي يصب فيه والذي يمثل مستوى القاعدة Base-Level بالنسبة للنحت. وتبدو كثير من الأنهار التي تجري في الميدلاندز Middlands الانجليزية وقد وصلت إلى مرحلة التعادل ومنها الأنهار التي تصب في بحر الشمال.

ويظل النحت مستمراً ولكن ببطء شديد حتى حينما يصل القطاع الطولي لدرجة التعادل. فالنهر يحمل باستمرار مهما كان ضعيفاً قدراً من المواد ينقلها إلى البحر، وهذه المواد لا شك تشتق من حوض النهر. معنى هذا أن حوضه ما يزال يعاني من فقدان قسم من مواده، وهذه المواد يتم

نحتها أساساً من مجراه الأعلى أي من طرف القوس المرتفع، وتبعاً لذلك فإن قوس القطاع الطولي للنهر يأخذ في الانبساط ببطء واستمرار.

هذا وقد افترضنا أن النهر يجري فوق منحدر أرضي أصلي يتركب من صخور متجانسة في طبيعتها ودرجة مقاومتها للتعرية حتى يمكننا فهم نشوء القطاع الطولي المتعادل بسهولة. والواقع أن هذه الحالة نادرة الوجود في الطبيعة. فالأنهار تجري عادة فوق نطاقات صخرية تتفاوت في طبيعتها وتركيبها، ومن ثم تتباين قدرتها على نحتها. ومن الممكن أن تظهر وتبرز طبقة صخرية مقاومة عبر الوادي، تسبقها (أعلى منسوباً) وتلحقها (أدنى منسوباً) طبقات أخرى لينة، فتتفاوت تبعاً لذلك عمليات النحت النهري وتنشأ المساقط المائية والمندفعات (راجع صفحة ٣٠٥ وما بعدها).

ويحاول النهر جاهداً للوصول إلى قطاعه المتعادل أن يتغلب عليها بالنحت فتختفي الجنادل بالتدريج وتتراجع الشلالات. ويختل القطاع المتعادل أيضاً حينما تعترض مجرى النهر بحيرة التي تمثل حينئذ مستوى قاعدة محلي للقسم من المجرى الذي ينتهي إليها. وما يزال النهر يلقي فيها بالرواسب ليملأها، وينحت مجراه عند مخرجه منها، وفي النهاية تنصرف مياهها إلى النهر، ثم يوائم النهر نفسه بعد ذلك ويوازن مجراه خلال الرواسب البحيرية وما تحتها من أساس صخري.

تجديد الشباب وأثره على القطاع الطولي للنهر:

يعتبر التغير في مستوى القاعدة أهم وأخطر اضطراب يمكن أن يصيب نمو قطاع النهر المتعادل. ويحدث هذا التغير حينما يهبط منسوب البحر، أو عندما يرتفع مستوى الأرض التي يجري عليها النهر نتيجة لحركات رفع

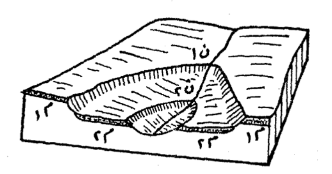
محلية. وتبعاً لذلك يشتد الانحدار ويقوى التيار فيتجدد النحت الرأسي. وقد يحدث تجديد لشباب النهر حينما تتناقص حمولته بحيث لا تتناسب مع سرعته، أو عندما تزداد كمية المياه التي تجري فيه نتيجة لزيادة كمية التساقط في أعاليه أو نتيجة لعمليات الأسر النهري، ولتجديد الشباب آثاره المورفولوجية على القطاع العرضي للنهر، فهو السبب في نشوء المدرجات النهرية والمنعطفات المتعمقة التي سترد دراستها بعد قليل.

أما آثاره على القطاع الطولي فتتمثل في ظهور انقطاع واضح على استمرار انحداره العام يعرف بنقطة التجديد Knick Point أو rejuvenation head ويحدد موقعها أحياناً مواضع المندفعات. وفي هذه الحالة ينشط النحت الرأسي ويتجدد، وينحر النهر مجراه تراجعياً من مصبه نحو منبعه، فينشىء بالتدريج قوساً جديداً يتقاطع مع قوس القطاع الطولي القديم عند نقطة التجديد. وتتراجع نقط التجديد نحو المنبع بسرعة يتوقف معدلها على مقاومة الصخور، ولهذا فهي قد تبطىء في تراجعها عندما تبرز طبقة صخرية صلبة مقاومة، فيصبح من الصعب حينئذ التمييز بين المندفعات التي تكونت بسبب نقط تجديد الشباب، والمندفعات التي نشأت من مجرد ظهور حواجز صخرية مقاومة للتعرية النهرية. وقد يظهر في مجاري بعض الأنهار وروافدها عدد من نقط التجديد تشير إلى عديد من مراحل تجديد نشاط النحت الرأسي.

وادي النهر المتجدد الشباب:

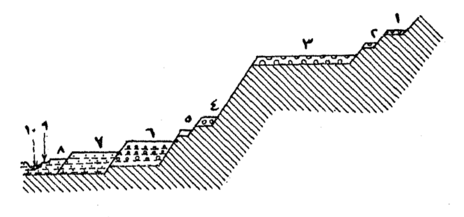
يمكن إجمال الآثار المورفولوجية الرئيسية لتجديد الشباب على القطاع العرضي للنهر في تكوين الظاهرات الآتية:

١ - المدرجات النهرية River Terraces: وهي تنشأ وتتضح معالمها نتيجة لفعل كل من النحت الرأسي والنحت الجانبي، فحينا يجدد النهر نحته الرأسي، فإنه يهبط بمجراه في السهل الفيضي الذي سبق له تكوينه، تاركاً ذلك السهل بارزاً فوق مستوى ضفتي مجراه، وتبعاً لذلك يظهر السهل في شكل مصطبتين تحاذيان كلا جانبيه. وينشط النحت الجانبي، وتتكون المنعطفات، فيوسع النهر واديه الجديد على حساب المصطبتين فتتراجعان إلى الوراء بعيداً عن المجرى. ويرسب النهر فوق واديه الجديد مكوناً لسهل فيضي حديث يقع دون منسوب المصطبتين (بقايا السهل القديم). وقد يحدث بعد ذلك أن يتجدد شباب النهر مرة أخرى وتتكرر نفس العمليات، فينشأ زوج آخر من المصاطب النهرية أدنى منسوباً من الزوج الأول وهكذا... وبتوالي عمليات التجديد وتكرار تنشيط كل من النحت الرأسي والنحت الجانبي تنشأ مجموعات زوجية من المدرجات النهرية المتقابلة، الأعلى منها هو الأقدم، ويمكن موازاتها ببعضها وربطها في كثير من الأحيان بنقط التجديد على القطاع الطولي للنهر (شكل ١١٦)، وإن كانت في بعض الأحيان الأخرى تنشأ أصلاً نتيجة لذبذبات مناخية تسبب زيادة في تساقط الأمطار.



شكل (١١٦): يوضح الشكل إمكانية الربط بين نقط التجديد المتتالية ن١ ن٢ والمدرجات المزدوجة المتعاقبة م١، م٢.

وتتركب رواسب المدرجات أساساً من الحصى والطمي. وحين تتجدد التعرية النهرية يسهل عليها اكتساح الطمي، ومن ثم يبقى الحصى مكوناً لغطاء يكسو سطح المصاطب القديمة. ولهذا فهي تعرف عادة بالمدرجات الحصوية، وتطلق عليها أسماء قد تدل على المنسوب كالمدرج العلوي أو المدرج السفلي، أو قد تشير إلى مكان وجوده بصورة مثالية. وهي تفيد كثيراً في عمليات التحقيق والربط والمقارنة. وفي الشكل رقم (١١٧) مثال طيب للمدرجات النهرية التي تحف بجانبي نهر الراين عند مدينة بون عاصمة ألمانيا الغربية. وينسب المدرج (١) لعصر البلايوسين. أما المدرجات الأخرى فقد نشأت إبان عصر البلايوستوسين. ويبلغ ارتفاع المدرج الرئيسي عند مدينة بون بين ١٠٠ – ١٢٥ م فوق مستوى مياه النهر الحالي. وقد نشأت بعض المدرجات لأسباب تكتونية (عمليات رفع أصابت المنطقة)



شكل (١١٧) مدرجات الراين عند مدينة بون.

١ – مدرج بلايوسيني
٢ – المدرج الأعلى
٣ – المدرج الرئيسي
٤ – المدرج العلوي
٥ – مدرج أبول
٦ – المدرج الأوسط
٧ – المدرج السفلي
٨ – مدرج جزيري
٩ – قاع الراين أثناء الفيضان
١٠ – مجرى الراين

وبعضها الآخر نتيجة للتغيرات المناخية التي أصابت أوربا أثناء عصر البلايوستوسين وما ارتبط بها من ذبذبات في مستوى البحر.

وتحف بوادي النيل في مصر ثلاث مجموعات من المدرجات النهرية نشأتْ نتيجة لتكرار عمليات النحت والإرساب التي ارتبطت بالذبذبات في مستوى البحر المتوسط إبان عصري البلايوسين والبلايوستوسين.

المجموعة الأولى: وتضم الخمس مصاطب العليا وهي الأقدم، وقد نشأت في عصر البلايوسين وأوائل عصر البلايوستوسين، وارتفاعاتها على التوالي ١٥٠، ١١٥، ٩٠، ٦٠، ٤٥ متراً فوق المستوى الحالي للوادي. ويصعب تمييز المصطبتين الأولى والثانية نظراً لأن التعرية قد طمست معالمها، أما المصاطب الثلاث الأخرى فهي واضحة المعالم، ويمكن تتبعها من وادي حلفا حتى القاهرة.

والمجموعة الثانية: تشمل مصطبتين على ارتفاع ٣٠، ١٥ متراً على التوالي فوق منسوب الوادي الحالي.

والمجموعة الثالثة: تضم مصطبتين أيضاً ترتفعان إلى ٩، ٣ م.

ووجود هذه المدرجات يشير إلى تجدد عمليات النحت الرأسي والنحت الجانبي، أثناء عدة فترات انخفض أثناءها مستوى القاعدة وهو منسوب البحر المتوسط على مراحل متعاقبة.

٢ - المنعطفات المتعمّقة: قد يشتد النحت الرأسي حينما يتجدد شباب النهر بحيث يستطيع نحت منعطفاته خلال رواسب سهله الفيضى بل وخلال الأساس الصخري الذي ترتكز عليه، فتتخذ المنعطفات مظهراً جديداً، فتتسم جوانبها بشدة الانحدار، وتعرف حينئذ بالمنعطفات المتعمقة

Incised meanders . ويمكن تمييز نمطين منها: منعطفات خندقية intrenched وتبدو جوانبها شديدة الانحدار لكنها (الجوانب) تكون منتظمة متماثلة الانحدار، وهي نمط غير شائع الوجود. ومنعطفات غير متماثلة انحدار الجوانب ingrown، وفي مثلها نجد أحد جوانب المنعطف شديد الانحدار وهو الجانب المقعر، بينما نجد لجانبها المحدب هين الانحدار نوعاً.

ونجد أمثلة المنعطفات المتعمِّقة في مجرى نهر واي Wye الذي يجري في ويلز ويصب في خليج سفرن severn إلى الغرب من نهر سفرن. فالنهر يتلوى خلال واد يشبه الخانق، وينحني بشدة في بعض أجزاء مجراه مكوناً لمنعطفات يقترب شكلها من شكل الأنشوطة. وقد شق النهر مجراه رأسياً في تلك المنعطفات خلال طبقات الفحم والصخور الجيرية الكربونية فالرملية الحمراء القديمة. وقد يقطع النهر عنق المنعطف المتعمق ويهجره. ويتخذ لنفسه مجرى مستقيماً، ويدأب في نحته وتعميقه حتى يصبح أدنى منسوباً من مجراه القديم في المنعطف المتعمق المهجور، وهذا ما فعله نهرواي في مجراه قرب بلدة ريدبروك Rèdbrook، فقد هجر منعطفاً متعمقاً يقع الآن على منسوب ١٢٠ م فوق مستوى المجرى الحالي.

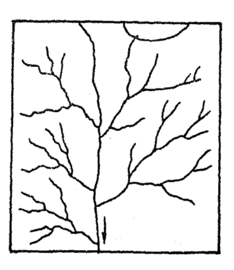
أشكال التصريف النهري

يقصد بشكل التصريف النهري الصورة العامة التي يبدو بها النهر بروافده الرئيسية والثانوية. ويبدأ نشوء ونمو حوض التصريف النهري من الوجهة النظرية بعدد من المجاري الرئيسية تتدفق مباشرة فوق المنحدر صوب البحر. وهذه المجاري ما هي في الواقع الا نتيجة لاتجاه هذا المنحدر، أي أنها تتبع في جريانها اتجاه المنحدر، ولهذا فإنها تسمى الأنهار التابعة

Consequent . وفي أثناء نموها تجري الروافد نحوها وتتصل بها في أوضاع مائلة أي بزوايا حادة. كما تتصل بهذه الروافد روافد أخرى ثانوية. وتسمى النقطة التي عندما يلتقي الرافد بالنهر الرئيسي. بالملتقى أو الاتصال المتوافق Accordant junction .

وإذا كانت صخور الحوض متجانسة في طبيعتها وفي مدى مقاومتها للتعرية، فإن كلّ نهر تابع يصبح مركزاً لنظام تصريف نهري مائل، فيه تلتقي الروافد ببعضها وبالمجرى الرئيسي بزوايا حادة. فيبدو بشكل شجرة متعددة الفروع والأغصان، ولذا فإنه يعرف بالتصريف النهري الشجري dentric، وهو تعبير مشتق من كلمة dendron اليونانية ومعناها شجرة (شكل ١١٨).

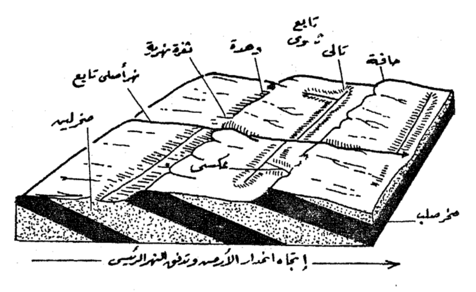
وإذا حدث وكان حوض النهر التابع يتركب من صخور غير متجانسة وتتفاوت في درجة مقاومتها للتعرية، فإن الروافد التي تنشأ تكون ذات ارتباط وثيق بالتركيب الصخري. وحينما تجري تلك الروافد على طول



شكل (١١٨) التصريف النهري الشجري.

مضرب الطبقات أو خط ظهورها فإنها تعرف حينئذ بالمجاري التالية Subsequent. ويزداد طول هذه الروافد أو المجاري التالية بامتدادها تراجعياً نحو منابعها عن طريق النحت أو التقويض التراجعي كما تتسع أوديتها بالتدريج.

وحينما يتألف حوض النهر التابع من سلسلة نطاقات من الصخور الصلبة تتعاقب مع نطاقات من الصخور اللينة وكلها تميل في نفس الاتجاه وتمتد عمودياً على اتجاه منحدر النهر التابع، فإن المجاري التالية تجري حينئذ على امتداد مضرب الطبقات الصخرية اللينة، وتتصل بالنهر التابع بزوايا قائمة. وتبقى نطاقات الطبقات الصلبة ناتئة قائمة في شكل حافات أو تلال طويلة توازي المجاري التالية، ويشقها النهر التابع (الرئيسي) ويجري عبرها نحو حضيض المنحدر خلال فتحات ذات جوانب شديدة الانحدار تسمى الثغرات النهرية River Gaps (شكل ١١٩). وبالإضافة لذلك تنشأ روافد للمجاري التالية تنحدر إليها من الحافات التلالية الصلبة الصخور المشار إليها. ومن هذه الروافد ما يجري متتبعاً المنحدر الأصلي تجاه البحر (موازياً للمجرى التابع) وتسمى المجاري التابعة الثانوية Secondary consequent. ومنها ما يجري على المنحدرات المضادة فتسمى المجاري العكسية Obsequent. ويستخدم اللفظ الأخير في ألمانيا وأمريكا وفرنسا بالمعنى الذي أشرنا إليه أي يطلق على النهر الذي يجري في اتجاه مضاد لاتجاه النهر التابع Anti-consequent. أما في انجلترا فيطلق أحياناً على النهر الذي يجري عكس ميل الطبقات anti-dip. ونظام التصريف النهري الذي يظهر بهذه الصورة يعرف بالتصريف المتشابك Trellised (شكل ١١٩) وفيه يتشابك ويتلاقى النهر التابع وروافده المستعرضة (التالية) والطولية (تابعة ثانوية وعكسية) بزوايا قائمة (أنظر شكل ١٢١ ص ٣٣٩).



شكل (١١٩) التصريف النهري المتشابك.

ونجد لهذا النمط المتشابك مثالاً واضحاً في جنوب شرق انجلترا حيث تتعاقب نطاقات من الطبقات اللينة الصلصالية مع نطاقات من الطبقات الصلبة الجيرية والطباشيرية، وكلها تميل ميلاً هيناً نحو الجنوب الشرقي. ونتيجة لذلك نشأت أشكال من التصريف النهري المتشابك المعقد، فيه تجري الأنهار التابعة مع المنحدر العام، وتلتقي بها روافد مستعرضة منشئة لوهاد ووديان عريضة في الصخور الصلصالية. وتبرز الصخور الصلبة في شكل حافات صخرية تنبع منها مجاري تابعة ثانوية ومجاري عكسية. ويتضح نمط التصريف النهري المتشابك أيضاً في القسم الشرقي من حوض باريس الذي يعرف بأرض الحافات والوهاد، حيث يجري نهر السين وروافده فوق نطاقات صخرية غير متجانسة التركيب.

الأسر النهري وعلاقته بالتصريف المائي:

يؤدي نمو النظم النهرية المتجاورة التي تستقي مياهها من مناطق تقسيم

مياه مشتركة إلى أن يصبح نهر منها أعظم وأقوى من جيرانه، وبمرور الزمن يصبح هذا النهر هو النهر السائد master stream في المنطقة. وهو يصل إلى عنفوانه هذا عن طريق تراجع منابعه (تراجع خطوط تقسيم المياه) من

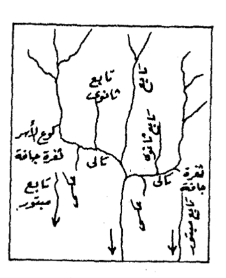
شكل (١٢٠) الأسر النهري.

جهة، وبواسطة تحويل أجزاء من النظام النهري المجاور إلى حوضه من جهة أخرى. وتعرف الظاهرة الأخيرة بالأسر النهري River capture (شكل ١٢٠).

ويحدث الأسر النهري حينما يتمكن النهر السائد الأقوى من دفع خطوط تقسيم المياه ونحرها إلى الوراء وذلك عن طريق النحت التراجعي وما يزال النهر السائد يعمق مجراه وينحت تراجعياً مخترقاً منطقة تقسيم المياه حتى يصل إلى منابع النهر الضعيف المرتفع القاع فيأسرها وتتحول مياهها إليه، وتبعاً لذلك تزداد قدرة النهر الآسر. وعند مكان الأسر (أو مكان تحويل المياه إلى النهر الآسر توجد في العادة حنية واضحة المعالم تعرف بعلامة أو كوع الأسر Elbow of Capture. وينكمش النهر المبتور الرأس beheaded الذي فقد منابعه، ويصبح أصغر حجماً بالنسبة لواديه، لذا يعرف بالنهر الضامر Misfit . وقد يتضاءل ويقصر مجرى النهر الضامر ويصبح منبعه بعيداً عن كوع الأسر تاركاً جزءاً جافاً من واديه القديم (قبل الأسر) يعرف بالثغرة الجافة Dry-gap (أو ثغرة الريح Wind-gap).

ويحدث الأسر النهري على الخصوص في أقاليم الحافات المتعاقبة، حيث تستطيع الأنهار التالية المتعامدة على مجاري الأنهار التابعة أن تنحت تراجعياً على امتداد نطاقات الصخور اللينة القليلة المقاومة للتعرية كالصخور الصلصالية، ومن ثم تأسر منابع الأنهار المجاورة، وتنشىء شكلاً من أشكال التصريف النهري سبق أن سميناه التصريف المتشابك الذي يبدو هنا على جانب كبير من التعقيد (أنظر شكل ١٢١).

والواقع أن الأسر النهري لا يحتاج لحدوثه إلى ظروف تركيبية خاصة



شكل (١٢١) الأسر النهري والتصريف المتشابك.

فهو ظاهرة عادية شائعة الحدوث، ويعكس نضال النظم النهرية من أجل البقاء. ولا يوجد في بريطانيا كما يقول وولدريدج S. W. Wooldridge سوى مناطق قليلة لا تظهر فيها علامات الأسر النهري، وكمثال نذكر نهر وي Wey الذي استطاع أن يأسر القسم الأعلى من نهر بلاك ووتر Black water. وهناك العديد من عمليات الأسر النهري التي تمت في أراضي الحافات المتعاقبة في حوض باريس، وأشهرها اقتطاع نهر الموزيل وأسره للجزء الأعلى من نهر ميز Meuse قرب بلدة Toul، وتخلفت عن الأسر ثغرة تول الجافة التي تشغلها وهدة الحمار Val de l'ane.

أشكال التصريف النهري وعلاقتها بالتراكيب الصخرية:

هذا الوصف السابق الذي سردناه لنشوء ونمو أشكال التصريف النهري قد بنيناه على افتراض وجود سطح أصلي ينحدر انحداراً متناسقاً تجاه البحر، فوقه قد نشأ النظام النهري ونما. وافترضنا أيضاً وجود طبقات صخرية رسوبية لم يصبها الاضطراب إلاّ قليلاً، فهي إما أفقية أو تميل ميلاً

هيناً نحو البحر، ومثل هذه التراكيب تدعى بالتراكيب المتحدة الميل uniclinal . غير أن نظم التصريف المائي تنشأ عادة فوق أنماط متباينة من السطوح الأصلية التي تختلف عن بعضها من الوجهة الصخرية والتركيبية. والسطوح التركيبية ما هي إلاّ نتاج نشاط تكتوني من أنواع مختلفة، هذا النشاط التكتوني هو المسئول عن تكوين ما يمكن أن نسميه بأشكال سطح الأرض الأصلية أو الأولية Initial Land forms كمختلف أنواع الجبال والهضاب والسهول والأودية والأحواض والبحيرات والبحار والمحيطات. وحالما يبدأ قسم من قشرة الأرض في الارتفاع بالنسبة لقسم آخر، فإن كل قوى التعرية تبدأ في العمل مستهلة لدورة تعرية جديدة.

وتتضمن السطوح التركيبية الأصلية عاملين يتحكمان في نشوء ونمو النظم النهرية:

العامل الأول: يتمثل في مدى ارتفاع المنطقة وشكلها ودرجة انحدارها، فهي كلها خصائص تتحكم إلى حد كبير في نمط التصريف النهري. فمن النظم النهرية ما ينشأ فوق منطقة جبلية التوائية مرتفعة عظيمة الرقعة، أو فوق منطقة التوائية محدودة المساحة لكنها معقدة الالتواء، أو فوق هضبة انكسارية، أو فوق مخروط بركاني أو غطاء أفقي فسيح من اللافا، أو فوق مرتفع قبابي الشكل نشأ من التواء منتظم متناسق الميل أو بواسطة تداخلات الصّهير كقباب اللاكوليت والباتوليت. ولا شك أن لكل من هذه الأشكال الأرضية نمطها الخاص من أشكال التصريف النهري.

العامل الثاني: يختص بتعقد التراكيب الصخرية التي يترتب عليها تعريض الصخور المتفاوتة في صلابتها ومقاومتها والتي تقع حينئذ متجاورة متلاصقة، لعمليات التعرية. والاختلاف في قدرة التعرية على نحت هذه

الصخور المتباينة هو المسئول عن كثير من تفاصيل الوادي، خاصة في مرحلة الشباب النهري، هذا على الرغم من أنها قد تؤدي في النهاية إلى نشوء مجرى متعادل لا يرتبط بالصخور الأساسية السفلى.

هذا وقد تسبب التغيرات أو الذبذبات في منسوب البحر تعديلات واسعة النطاق، ليس فقط في شكل القطاع العرضي والطولي للنهر، وإنما أيضاً في شكل التصريف النهري. فلقد أدى تكوين بحر الشمال والقنال الانجليزي إلى تعديل كبير في النظم النهرية في غرب أوربا، ففي أثناء عصر البلايوستوسين كان التصريف النهري الرئيسي يتمثل أساساً في نهر الراين القديم Proto-Rhine الذي كان يجري شمالاً فوق قاع بحر الشمال الحالي حتى خط عرض جزر أوركني (شمال اسكتلندا)، وكانت تنتهي إليه روافد عدة (منها نهر التيمز) تكون الآن نظماً نهرية مستقلة في غرب أوربا بعد ما ذاب الجليد وامتلأ بحر الشمال بالمياه.

وسنعرض فيما يلي لكيفية نشوء أشكال من التصريف النهري، عدا التصريف الشجري والمتشابك، فوق مختلف التراكيب الصخرية.

التصريف النهري فوق التراكيب الالتوائية:

تتألف النطاقات الالتوائية من ثنيات مقعرة وأخرى محدبة. ويحدث حينما يجري نهر تابع طولي أصلي على امتداد ثنية مقعرة أن تتصل به روافد تنحدر إليه متعامدة عليه من فوق منحدرات الثنيات المحدبة الممتدة على كلا جانبيه. وتعرف هذه الروافد بالأنهار التابعة العرضية (الجانبية) Transverse Consequent وتنحت هذه الروافد القوية النشطة مجاريها وأوديتها بسرعة، وقد تتمكن في النهاية من تقويض وهدم قمم الثنيات

المحدبة، يساعدها ويشد من أزرها حقيقة أن محاور الثنيات المحدبة تكون عادة أضعف من الوجهة التركيبية من محاور الثنيات المقعرة، نظراً لأنها تعرضت أكثر لعمليات الضغط والشد. وفي نفس الوقت تنشأ روافد للمجاري التابعة العرضية تسمى بالمجاري التالية الطولية Longitudinal Subsequent تجري موازية للنهر التابع الطولي الأصلي الذي يجري في حوض الثنية المقعرة.

وتدأب هذه الروافد في نحت مجاريها رأسياً على امتداد محاور الثنيات المحدبة مكونة لحافات صخرية تطل على المجرى. وما تزال هذه الحافات تتراجع بفعل التعرية تدريجياً وتتسع بذلك أودية الروافد على حساب الثنية المقعرة المجاورة. فيضمحل بذلك النهر التابع الطولي الأصلي الذي يجري على امتداد تلك الثنية ويقل نشاطه. في الوقت الذي فيه ما يزال نهر الثنية المحدبة (التالي الطولي) مستمراً في النحت الرأسي والجانبي، حتى يصبح على منسوب أدنى من منسوب وادي الثنية المقعرة، فيزداد حجمه ونشاطه، بينما يضمحل وادي الثنية المقعرة وقد يتلاشى ويزول في النهاية. وتبقى حينئذ مخلفات الثنية المقعرة في هيئة حافة أو قمة جبلية (شكل ١٢٢).



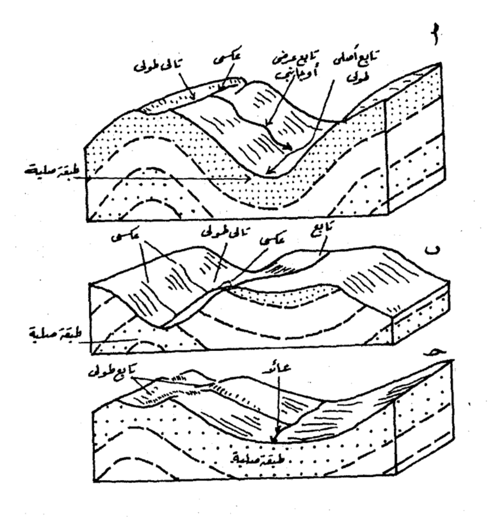
شكل (١٢٢) تكوين جبال الثنيات المقعرة نتيجة للتعرية النهرية.

وليست هذه في الواقع نهاية المطاف، إذ أن التعرية تستمر في عملها،

وتناضل في سبيل تحطيم حافات الثنية المقعرة، حتى تتمكن في النهاية من ازالتها وتكوين سهل تحاتي Peneplane. وإذا ما حدث وتجددت حركات الرفع، وهي ظاهرة شائعة الحدوث، فإن الأنهار الرئيسية في المنطقة تنحت من جديد على امتداد الثنيات المحدبة السابقة، وإذا ما اتفق ووجدت فيها طبقات صخرية مقاومة فإن النهر قد يضطر إلى تفاديها، فينقل مجراه جانبياً صوب الثنية المقعرة ومن ثم يحطم بقاياها كلية. وقد يصل النهر في انتقاله الجانبي إلى مجرى الثنية المقعرة القديم الأصلي (النهر التابع الطولي) فيعود إليه متتبعاً معظم امتداد مجراه، مثل هذا النهر يعرف حينئذ بالنهر العائد Resequent. وهذه الظاهرة شائعة الحدوث في النطاقات الالتوائية القديمة. ففي حوض هامبشير بجنوب انجلترا نجد نهر إبل Ebble وقد مر بهذه الدورة. فهو يجري الآن خلال ثنية مقعرة قد هاجر إليها متتبعاً مجرى نهر تابع قديم.

ويمكنك أن تتبع تطور النظام النهري العائد بالاستعانة بالشكل (١٢٣ أ، ب، جـ) ففي الشكل (١٢٣ أ) نرى ثنيتين احداهما محدبة والأخرى مقعرة، ويميل محوراها عن الخط الأفقي في اتجاه معين، وعلى سطحها الأصلي تجري المياه صوب البحر. وفي المرحلة الأولى (شكل ١٢٣ أ) نجد النهر الرئيسي التابع يسير مع ميل محور الثنية المقعرة، وفي الوقت نفسه تجري الأنهار التابعة العرضية على جانبي الثنية المقعرة متجهة إليه. ونظراً لأن قمة الثنية المحدبة تكون ضعيفة بسبب تأثرها الشديد بقوى الالتواء، فإن نهراً تالياً ينشأ وينحت في تكويناتها ويتخذ نفس اتجاه ميل محورها نحو البحر، بينما تتكون مجاري عكسية تنصب فيه من الحافتين المشرفتين عليه.

وفي الوقت الذي ما يزال فيه النهر التابع ينحت الطبقة الصخرية الصلدة ببطء، نرى النهر التالي قوياً نشيطاً يواصل تعميق واديه وتوسيعه



شكل (١٢٣) نشوء التضاريس المقلوبة والتصريف النهري العائد فوق تراكيب صخرية التوائية.

حتى يصبح أدنى منسوباً من النهر التابع، وتصبح له السيادة شكل (١٢٣ ب). وقد يحدث بعد ذلك كما نرى في الشكل (١٢٣ ب) أن يعرقل نشاط النهر التالي ظهور طبقة صخرية صلدة، ومن ثم يبطىء في تعميق مجراه في الوقت الذي فيه يواصل النهر التابع الطولي نحره لمجراه، وفي النهاية نرى التصريف النهري في المنطقة وقد عاد إلى ما يشبه مظهره الأصلي (قارن شكل ١٢٣ أ، ب، جـ).

ونجد العديد من أمثلة التصريف النهري العائد في المناطق الالتوائية الهرسينية في أوربا. ففي جنوب غرب أيرلندا عاد التصريف النهري إلى بطون الثنيات المقعرة الأصلية التي تتركب من صخور كربونية ضعيفة، وتكتنفها حافات صخرية محدبة تتركب من صخور رملية قديمة مقاومة. وبالمثل نجد التصريف النهري العائد واضحاً في غربي بريتاني في شمال غرب فرنسا، حيث يجري نهر أولين Aulune في حوض يمثل ثنية مقعرة أصلية قديمة نحو خليج بريست، وتكتنفه في الشمال وفي الجنوب حافات صخرية صلبة تمثل بقايا محدبات قديمة أكلتها التعرية النهرية، ثم هجرتها إلى الثنية المقعرة بعدما ظهرت الصخور البلورية المتداخلة القديمة.

وتظهر في مرتفعات أبلاش أمثلة رائعة لمراحل التصريف النهري العائد. ففي النطاق الذي يعرف بإقليم الحافة والوادي Ridge & Valley الواقع بين هضبة أليجاني- كمبرلابد (المقطعة بواسطة التعرية النهرية) في الغرب، وقمم الحافة الزرقاء البلورية في الشرق، نجد الكثير من الثنيات المحدبة والمقعرة تمتد متوازية، وتختفي وتعود إلى الظهور فوق مساحة كبيرة، وقد واءمت النظم النهرية نفسها بهذه الخطوط التركيبية القديمة، فحفرت لنفسها أودية على طول محاور قممها المحدبة، وخفضت منسوبها، بينما نجد الثنيات المقعرة التي كانت قديماً في هيئة أحواض أو أودية التوائية تبدو الآن في هيئة جبلية (أنظر شكل ١٢٢) وفي نفس النطاق نرى بعض الأنهار وقد هجرت، في دورة تحاتية لاحقة، محاور الثنيات المحدبة السالفة وعادت إلى الثنيات المقعرة، وفيا بينها تخلفت حافات طويلة ومستقيمة تتركب من صخور صلبة رملية وكوارتيزية يقطع اتصالها أودية عرضية وثغرات جافة وثغرات مائية.

التصريف النهري فوق التراكيب المخروطية والقبابية:

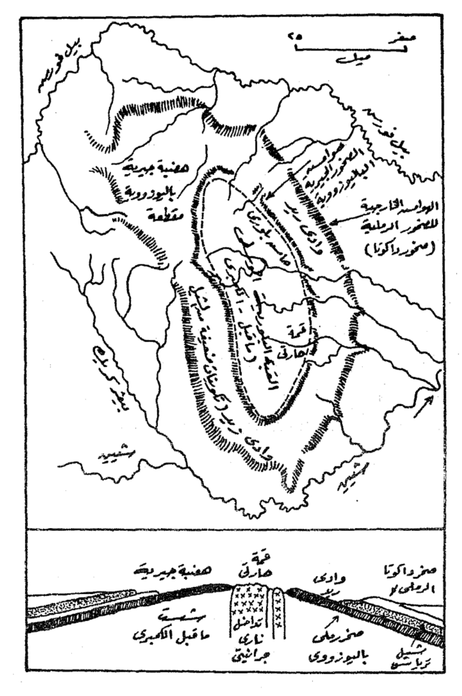
للتراكيب الصخرية المخروطية والقبابية الشكل أهمية خاصة لأنها المسئولة عن نشوء أشكال التصريف النهري التابع المتشعع radial consequent . ويتألف هذا النمط من عدد من الأنهار التابعة تنحدر من قمم المخروطات البركانية أو قباب اللاكوليت والباتوليت فوق منحدراتها إلى أسافلها.

ويظهر التصريف النهري المتشعع واضحاً جلياً فوق منحدرات كثير من المخروطات البركانية المركبة العظيمة كمخروط فوجي ياما، وإتنا، ورينيير Rainier وهود Hood . وقد قطعت المجاري المائية منحدراتها تقطيعاً شديداً، فهي قوية نشيطة بسبب شدة الانحدار على الرغم من أن أحواضها محدودة الرقعة. وتبدأ دورة التعرية المائية فوق مثل هذه المخروطات بأن تغزو المجاري المائية جسم المخروط البركاني بعنف، وتبدو عمليات الاختيار التحاتي بواسطة الماء الجاري في أجلى صورها. فهذه المخروطات تتركب من خليط من الرماد البركاني والجمرات واللافا، ويختار الماء الجاري أضعفها وألينها فينحره أكثر مما ينحرغيره، وما يزال النهر ينحت رأسياً وجانبياً إلى أن يصل بواديه إلى مرحلة نضج تبدو واضحة على سبيل المثال في مخروط ماونت شاستا في مرتفعات كاسكيد، ومونت دور Mont Dore ، وبلومب دي كانتالPlomb deCantal في إقليم أوفيرن Anvergne بهضبة فرنسا الوسطى. وحينما تتقدم دورة التعرية المائية وتصل إلى مرحلة الشيخوخة، ويظهر المخروط البركاني وقد تداعى وتحطم هيكله، ولا يبقى منه سوى العنق الصلد المقاوم للتعرية الذي يتلاشى ويزول هو الآخر في النهاية.

وهناك أمثلة للتصريف النهري المتشعع نجدها فوق سطوح قباب

اللاكوليت والباتوليت التي تنشأ نتيجة للنشاط الجوفي، ومنها لا كوليت هنري Henry Mount في ولاية يوتاه. ولا تظهر أجسام الباتوليت بشكلها القبابي إلاّ بعد أن تزيل التعرية الغطاء الرسوبي الذي تحمله فوقها، ومن ثم فإن المرحلة الأولى في دورة التصريف النهري المتشعع لا تظهر فوق سطحها. وحالما تنكشف وتبرز باعتبارها كتلة جرانيتية مرتفعة عن منسوب الأراضي المجاورة، فإنها تصبح مركزا لتصريف نهري متشعع. وعادة ما تكون منحدرات الباتوليت هينة، ونظراً لشدة مقاومة الصخور البلورية الصلبة التي يتركب منها الجسم الناري، فإن مجاري الأنهار تكون في العادة ضحلة رغم شدة النحت، لكنها تزداد عمقاً نحو أسافله حيث يشتد الانحدار. ونشاهد مثالاً طيباً لهذه الظروف في منطقة دارت مور Dartmoor القبابية في إقليم ديفون بجنوب غرب انجلترا، وفي منطقة ليموزان Limosin بشمال غرب هضبة فرنسا الوسطى.

وتتسبب التراكيب القبابية أحياناً في نشأة نظام آخر من التصريف المائي- عدا التصريف المتشعع- يعرف بالتصريف الدائري Annular حول قاعدة القبة، ويبدو ذلك جلياً في منطقة التلال السوداء في ولايتي داكوتا الشمالية ووايومنج. وقد كانت التلال أصلاً أشبه بقبة مستطيلة الشكل تتوسطها كتلة جرانيتية متداخلة تحف بها صخور متحولة من الشست، وكانت تغطيها طبقات الصخور الجيرية والرملية. وقد عمل نهر شيين Cheyenne وروافده (تصريف متشعع) على نحت القبة وتقطيعها، وتمكن من الكشف عن كتلتها البللورية الوسطى، وبقيت مخلفات الغطاء الرسوبي القديم المتآكل على جوانبها مكونة لهضيبات تكتنفها الحافات الشديدة الانحدار. وتجري الأنهار في مجاري دائرية حول القبة متوافقة مع مضارب تلك التكوينات الضعيفة ومشكلة لما يعرف بالتصريف النهري الدائري (شكل ١٢٤).



شكل (١٢٤) قبة التلال السوداء المتقطعة في داكوتا الجنوبية.

تصريف نهري متشعع ودائري.

التصريف النهري فوق التراكيب الانكسارية:

قد تحدد العيوب والانكسارات سواء منها ما كان منفرداً أو متوازياً أو أخدودياً مسارات المجاري المائية ومن ثم نمط التصريف النهري الذي يعرف بالتصريف المستطيل Rectangular. وفيه تلتقي بالنهر الرئيسي الذي يتبع خط انكسار طولي معين، روافد تتعامد عليه وتتبع هي الأخرى خطوط انكسارات عرضية (تتعامد على خط الانكسار الطولي الرئيسي) وتجري الأنهار في مجاري متعرجة متتبعة خطوط الانكسارات المتقاطعة ويشاهد هذا بوضوح في مرتفعات اسكتلندا وفي الهضاب الممزقة بشرق وجنوب أفريقيا: ويبدو هذا النمط من التصريف النهري مشابهاً لشكل التصريف النهري المتشابك بمجاريه التابعة والتالية والعكسية، لكنه يختلف عنه في ظروف النشأة. وحينما تلتقي الروافد بالنهر الرئيسي بزوايا حادة نوعاً فإن التصريف المائي يدعى حينئذ بالتصريف ذي الزوايا Angular ومن المجاري المائية التي تجري على طول نطاقات ضيقة أصابها التصدع نهر النيل في مجراه الأعلى بالهضبة الاستوائية، ونهر الراين شمال بازل فيما بين الفوج والغابة السوداء.

التصريف النهري غير المتوافق مع التراكيب الصخرية:

يتضح من الدراسة السابقة أن أشكال التصريف النهري التي سبق أن ناقشناها تبدو متوافقة Conformable مع التراكيب الصخرية. ويحدث أحياناً أن نجد أشكالاً من التصريف المائي لا تتبع نظم التراكيب الصخرية ولا تنشأ على صلة أصولية متوافقة معها، ويطلق على مثلها «التصريف النهري التلقــائي (العشوائي) Inconsequent أو غــير المتوافــق

Non-conformable أو Discordant وينشأ هذا النمط الذي فيه تشق الأنهار مجاريها في النظم الالتوائية غير مبالية بثنياتها المقعرة والمحدبة بالطرق الآتية:

١- حينما يأسر نهر يجري على امتداد جانب ثنية محدبة نهراً آخر يجرى موازياً له على الجانب الآخر من الثنية. وعلى الرغم من أن عمليات الأسر هذه قد تحدث أحياناً إلاّ أنها لا يمكن أن تفسر نمط التصريف النهري التلقائي فوق إقليم فسيح.

٢- بواسطة تأثير الجليد الذي قد يعمل حين يملأ المجرى المائي على تحويل اتجاهه.

٣- عن طريق النضال النهري Antecedence ، حيث يجاهد النهر المناضل أو السالف Antecedent وينشط في شق مجراه خلال أرضه الآخذة في الارتفاع التدريجي.

٤- عن طريق انطباع Superimposition التصريف النهري في غطاء غير متوافق يتركب من صخور متباينة التركيب اكتسحته وأزالته التعرية.

التصريف النهري المناضل أو السالف:

يعزى التصريف النهري التلقائي في بعض الحالات إلى النضال النهري: وفيه ينبغي اعتبار أمرين: **الأول**: معدل الارتفاع الذي أصاب المنطقة، **والثاني**: معدل النحت الرأسي للنهر. ومن الممكن اعتبار النضال النهري بمثابة تفسير معقول للتصريف التلقائي حينما يكون النهر كبيراً، ومعدل الرفع

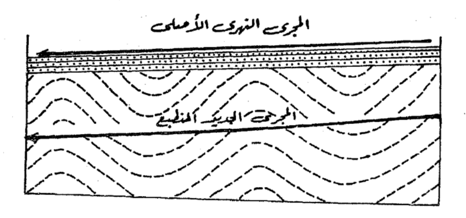
صغيراً. أما في الحالات التي تقطع فيها أنهار صغيرة مناطق التواءات كبيرة نسبياً فإن تفسير التصريف التلقائي عن طريق النضال النهري يصبح أمراً بعيد الاحتمال، كما هي الحال مثلاً في إقليم وبي ماوث Weymouth وجزيرة وايت.

ونجد أمثلة واضحة للنضال النهري في منطقة الهيمالايا، ومنها حالة نهر تيستا Tista ونهر آرون Arun. والأخير من خير الأمثلة للنضال النهري. ففي الأجزاء العليا من مجراه يتدفق النهر من الغرب إلى الشرق متوافقاً مع تراكيب المنطقة، لكنه ما يلبث بعد ذلك أن ينحني جنوباً ويشق طريقه خلال جبال الهيمالايا في سلسلة من الخوانق العميقة. ولا يمكن تفسير هذه الظاهرة إلاّ عن طريق النضال النهري، نظراً لأنه لم يعثر على شواهد لتأثير الجليد، كما أن الدلائل تشير إلى استبعاد الانطباع النهري والأسر النهري. وخلاصة القول أن الحركات الأرضية الرافعة قد تحدث تغيرات عظيمة وعلى نطاق واسع في أودية الأنهار التي يتجدد شبابها بسببها. وقد تستمر عمليات الرفع والنحت الرأسي لدرجة أن النهر الذي كان يجري بالمنطقة قبل حدوثها والذي استطاع أن يحتفظ باتجاه مجراه الأصلي (عن طريق النحت الرأسي الذي سار بمعدل يساوي معدل الرفع) يصبح الآن في واد لا تربطه صلة بالتراكيب الصخرية السطحية، ويعرف هذا النمط كما أسلفنا بالتصريف النهري المناضل أو السالف.

التصريف النهري المنطبع:

الانطباع النهري ظاهرة شائعة الحدوث، بل هي في مثل شيوع التصريف النهري العادي. وظروف الانطباع النهري تتمثل في مجرد وجود غطاء من الطبقات الصخرية الحديثة التي ترتكز غير متوافقة فوق طبقات

صخرية سفلى أقدم منها عمراً ومتباينة في تراكيبها. وينشأ التصريف النهري أصلاً فوق الغطاء السطحي (شكل ١٢٥)، وما يزال النهر ينحر الطبقات السطحية وينفذ خلالها إلى الطبقات الصخرية السفلى محتفظاً بشكله الأصلي. فهو بذلك ينطبع بكل تفاصيله بدون تغيرات جوهرية على الطبقات السفلى الأقدم بعد تآكل الصخور العليا الأحدث. ويسمى حينئذ بالتصريف المنطبع Super-imposed (أو Super-induced أو Epigenetic).



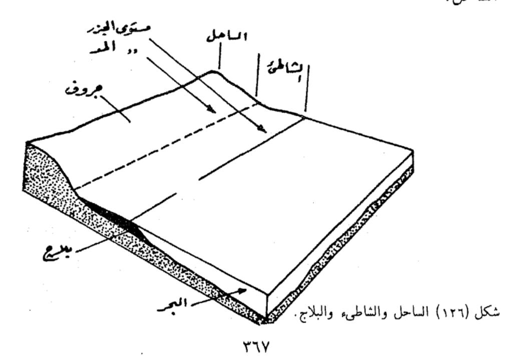
شكل (١٢٥) نشوء المجرى النهري المنطبع.

وتنتمي لهذا النوع معظم النظم النهرية في إقليم البحيرة Lake-District وفي ويلز وشرقي انجلترا، فالأنهار في إقليم البحيرة تجري الآن فوق صخور قديمة تنسب لأوائل الزمن الأول. وقد كانت تغطيها طبقات صخرية أحدث ترجع لأواخر الزمن الأول ولأوائل الزمن الثاني. وقد استطاعت الأنهار أثناء فترة طويلة من الزمن أن تشق مجاريها رأسياً وتنحت أوديتها في المنطقة. وقد أزيلت الآن تلك الصخور السطحية التي

قررت اتجاه ونمط التصريف النهري في المنطقة، ولم يبق منها سوى إطار ممزق حول هوامش الإقليم. وقد احتفظ التصريف النهري بشكله واتجاهه فوق مركب الصخور الأقدم قاطعاً مختلف مظاهر التكوينات الصخرية على مختلف الزوايا. ولهذا فإن شكل التصريف النهري السائد في المنطقة حالياً ما هو في الواقع إلا تركة ورثتها الصخور السفلى القديمة من الغطاء الصخري الحديث الذي اكتسح واندثر. وبالمثل نجد النظم النهرية في جنوب ويلز وقد شقت لنفسها أودية عميقة في الصخور الديفونية والكربونية القديمة متجهة اتجاهاً عاماً نحو الجنوب الشرقي إلى خليج بريستول، وقد نشأ التصريف النهري أصلاً فوق صخور أحدث كانت تميل ميلاً هيناً ثم انطبع فوق التراكيب الصخرية القديمة السفلى التي انكشفت حالياً بعد إزالة الصخور الأحدث التي ما تزال بقاياها تغطي وهدة مجاورة (هي وحدة جلامورجان Glamorgan).

التعرية البحرية

يقصد بتعبير ساحل Coast نطاق اتصال اليابس بالبحر. بينما يشمل الشاطىء Shore المساحة الواقعة بين حضيض الجروف البحرية (وهي الحوائط الصخرية المشرفة على البحر) وأدنى مستوى تصله مياه الجزر. وإذا حدث وكان الساحل سهلياً يخلو من الجروف فإن تعبير الشاطىء يطلق حينئذ على المساحة المحصورة بين أعلى حد تصله أمواج العواصف وبين أدنى منسوب تصله مياه الجزر. أما البلاج beach فيتألف من رواسب الرمال والحصى فوق الشاطىء. ويمكن تبيين خط الساحل Coastline إما بخط الجرف البحري أو الخط الذي تصل إليه أعلى أمواج العواصف. وينقسم الشاطىء إلى نطاقين: الشاطىء الأمامي Fore-shore ويمتد من أدنى منسوب لمياه الجزر إلى أعلى منسوب تصله موجة المد، والشاطىء الخلفي Back-shore ويمتد من أعلى منسوب تصله موجة المد إلى خط الساحل.



شكل (١٢٦) الساحل والشاطىء والبلاج.

العوامل التي تؤثر في تشكيل السواحل:

يتوقف شكل الساحل على تفاعل عدد من العوامل نجملها فيما يلي:

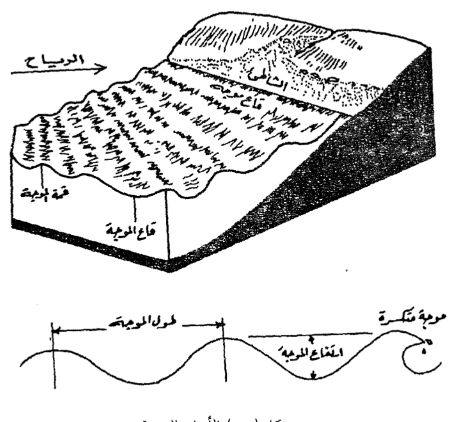
أولاً: فعل الأمواج وحركة المد والجزر والتيارات البحرية. وهي جميعاً تقوم بوظائف النحت والنقل والإرساب في المناطق الساحلية.

ثانياً: طبيعة الساحل أو هامش اليابس الذي يتعرض لفعل تلك العمليات البحرية. هل هو مرتفع شديد الانحدار، أو منخفض هين الانحدار؟ هل هو مستقيم أو مسنن؟ يضاف إلى ذلك خصائص تكوينه الصخري ودرجة مقاومة صخوره للتعرية، ومدى التجانس أو التفاوت في تركيبها.

ثالثاً: التغيرات التي انتابت وتنتاب المستوى النسبي لليابس والماء، والتي تعرف أحياناً بالتغيرات الموجبة والسالبة بحسب نتائجها في رفع أو خفض مستوى البحر بالنسبة للساحل.

أولاً: فعل الأمواج وحركة المد والجزر والتيارات البحرية:

(١) **فعل الأمواج**: تنشأ الأمواج عادة من هبوب الرياح والعواصف. فمعظم الأمواج ناتجة من تأثير احتكاك الرياح بسطح المياه، غير أن الأمواج قد تنشأ بتأثير حركات المد والجزر، كما تنشأ من تأثير الزلازل والثوران البركاني في قاع المحيط. ولكل موجة ارتفاع يقاس من **قاعها** Trough إلى **قمتها** Crest « ولها طول Length يعبر عنه بالمسافة بين قمتها وقمة الموجة التالية لها. أما مدة الموجة Wave Period فيقصد بها الفترة الزمنية بين لحظتي مرور قمتين متتاليتين بنقطة معينة.



شكل (١٢٧) الأمواج البحرية.

وجدير بالذكر أن كتلة المياه لا تتحرك ولا تنتقل مع الموجة، ولكن الذي ينتقل هو الطاقة الدافعة. فجزيئات الماء تتحرك في مسار دائري أو بيضاوي يتعامد على خط مرور الموجة ثم تعود قريباً جداً من مكانها الأصلي. ولو تحركت كتل الماء مع الأمواج بالفعل لأصبحت الملاحة البحرية مستحيلة، ولتعذرت السكنى بجوار السواحل البحرية. ويمكن تمثيل حركة الموجة بقطعة من الفلين تطفو فوق مياه متماوجة، فإنها تعلو وتنخفض مع الموج ولكنها لا تكاد تغير موضعها ما لم تجرفها بالفعل رياح أو تيار مائي. وشبيه بذلك تمايل سنابل القمح وتموجها مع الريح.

وتنشأ أعظم الأمواج في المحيطات لإتساع مجالها الذي يعبر عنه **بطول الامتداد** Length Fetch ، وهو المسافة التي تقطعها الأمواج مدفوعة برياح دائمة الهبوب في اتجاه واحد دون أن يعترضها عائق، وكلما كبر امتداد الأمواج Fetch كلما ازداد طولها Length. وارتفاعها Height . وأطول موجة محيطية جرى قياسها وصل إلى ١١٣٠ م (بين قمتين متتاليتين). وأعظم ارتفاع وصلته وصل إلى ٢٢ م ، قام بتسجيله جهاز آلي أثناء عاصفة هاريكين في غرب المحيط الأطلسي في عام ١٩٦١ . وحينما تصل الأمواج إلى مياه ضحلة يشتد انحدار قممها وتتجعد ثم تتكسر، وهي التي تعرف **بالأمواج المتكسرة** breakers (شكل ١٢٧)، ومن ثم تندفع كتل المياه فوق الشاطىء ، ثم ترتد ثانية صوب البحر. ويقابل احتشاد المياه على الشاطىء حركة للمياه مضادة في هيئة تيار رجعي (تعويض) نحو البحر. ويشعر المستحم في هذه الحالة بمثل هذا السحب الخطير.

وتدفع الرياح الأمواج نحو الشاطىء ،ويتقرر مدى ارتفاعها وطاقتها بقوة الرياح التي تسوقها وبطول الامتداد. ولهذا فإن موقع خط الساحل بالنسبة لاتجاه الريح ولعرض البحر يعتبر من أهم العوامل التي تؤثر في تشكيله، وبخاصة موقعه بالنسبة لاتجاه أقصى طول امتداد، ومن ثم لأعظم الأمواج وهي الأمواج الأقدر على القيام بعمليات التعرية. ولأمواج العواصف أهمية خاصة، وهي التي تحركها رياح في قوة الإعصار أو العاصفة تهب فوق مسطح مائي عظيم. فمثل هذه الأمواج العاتية قد يعادل تأثيرها في تشكيل السواحل في يوم واحد ما تستطيع الأمواج السائدة العادية فعله فيها أثناء عدة أسابيع. وتتسابق هذه الأمواج وتتلاحق بسرعة وبمعدل يتراوح بين ١٢- ١٤ موجة في الدقيقة الواحدة، ونظراً لتزاحمها ترتفع قممها وتتساقط كتل المياه من فوقها على طول جبهتها الزاحفة وتغوص فجأة بهدير شديد،

فيزداد عنفوان السحب وارتداد المياه التي تنحت أرض الشاطىء وتجرف معهـا مواده نحو البحر. ولهـذا فهي تعرف بأمواج الهـدم (النحـت) destructive. أما الأمواج المتوسطة القوة التي تتهادى نحو الساحل بمعدل يتراوح بين ٦ - ٨ موجة كل دقيقة،فإنها تتسم بقوة دافعة فعّالة نحو الساحل تفوق قوة السحب وارتداد المياه التي يعرقلها احتكاكها بالقاع.وامتصاص رواسب الشاطىء لجزء من تلك المياه المرتدة. ولهذا فإن مقدار ما تدفعه من الحصى نحو الساحل يزيد على مقدار ما تجرفه معها نحو البحر، ولذا تسمى بأمواج البناء (الإرساب) Constructive. ويقدر مقدار الضغط الذي تمارسه أمواج المحيط الأطلسي في فصل الشتاء على الشاطىء الغربي لأيرلندا بنحو أربعة أطنان للمتر المربع. ويشتد الضغط فيبلغ ثلاثة أمثال هذا القدر في حالة الأمواج العاصفة. ويعظم تأثير الأمواج العاصفة على خط الساحل حين تشد من أزرها أمواج المد العالي، فيصل فعلها حينئذ إلى واجهة الجروف البحرية.

ومن الأمواج العاتيـة مـا يعرف بالأمواج الزلزالية أو التسونامية Tsunami. وهي تنشأ نتيجة للهزات الزلزالية التي تصيب الأخاديد والأحواض في القاع المحيطي العميق. ففي أخاديد أتكاما وألوشيان واليابان تحدث الزلازل التي تثير أمواجاً عنيفة ترتطم بالسواحل فتسبب الكثير من الهدم والتخريب. وتحتل هذه الأخاديد وأمثالها مواضع ضعيفة غير ثابتة يصيبها الاختلال والاضطراب مما يولد الكثير من الزلازل التي تسبب الأمواج الثائرة العظيمة.

وتعمـل الأمواج كعامل نحت بطرق متعددة فالفعل الهيدروليكي Hydraulic لكتل المياه ذاتها له تأثير مباشر على تحطيم الصخور حينما تصطدم بها. وينضغط الهواء الموجود في الشقوق والشروخ والفواصل التي

تكتنف واجهة الجرف بشدة نتيجة لدفع المياه، وحينما ترتد الموجة يتمدد الهواء في الشقوق فجأة فيؤدي ذلك إلى تأثير انفجاري عنيف. وحينما تتوالى عملية انضغاط الهواء وتمدده، فإن أحجام تلك التراكيب الصخرية الثانوية تكبر، ويؤدي هذا في النهاية إلى تحطيم الصخر وتآكل الجرف. وتسرع تلك العملية إذا كان الصخر يحتوي على كثير من تلك الفواصل والشروخ.

وأهم من هذا وأكثر قدرة الفعل التحاتي Corrasive الذي تمارسه كتل الحطام الصخري حين تصطدم بأسافل الجروف فمثل هذا التقويض السفلي ينشيء جروفاً معلقة فيها تؤثر عوامل التجوية كفعل الصقيع وماء المطر، ويتوقف ذلك على طبيعة الصخور المكونة لها كما سنشير فيما بعد.

وتتصادم مكونات هذا الحطام الصخري ببعضها Attrition كما تصطدم بالجروف. ويحدث التصادم باستمرار سواء حين تدفعها مياه الأمواج نحو الساحل، وحين تسحبها مياه الأمواج المرتدة نحو البحر. وتبعاً لذلك تتآكل مكونات الحطام الصخري نفسها. إذ ينحت بعضها بعضاً نتيجة لاحتكاكها ببعضها. ويقع حصى الشواطيء تحت تأثير خضخضة وسحق عنيف مستمر أثناء هبوب الرياح القوية التي تثيرها الأمواج العاتية.

ويبقى بعد ذلك أن نشير إلى التأثير الكيماوي الذي تمارسه مياه الأمواج في صخور الشواطيء خاصة منها الصخورالكربونية، وسنشير إلى ذلك بشيء من التفصيل فيما بعد.

من هذا نرى أن العمل التحاتي للأمواج من أربعة أنماط: الفعل الهيدروليكي Hydraulic Action، والنحت Corrasion، والاحتكاك Attrition ثم الإذابة Solution، وهو يماثل بذلك العمل التحاتي للمياه الجارية (الأنهار).

(ب) المد والجزر: يتحرك سطح البحر بين ارتفاع وانخفاض مرة كل نصف يوم تقريباً، وهذه الحركة تبدو واضحة على الخصوص بجوار السواحل. ويعرف أقصى ارتفاع يبلغه سطح البحر بالمد، وأدنى انخفاض باسم الجزر. ويقدر مدى الحركة بالمسافة الرأسية بين مستوى المياه في أقصى المد ومستواها في أدنى الجزر. وتنشأ ظاهرة المد والجزر عن قوى جذب القمر والشمس للمياه. فالمياه بطبيعتها تستجيب لقوى جذب الأجرام السماوية البعيد منها والقريب. ولكن جذب النجوم - نظراً لبعدها الشاسع عن المسطحات المائية على الأرض- ضئيل جداً لا يكاد يتأثر به سطح البحر. وتأثير القمر في إحداث المد أقوى من تأثير الشمس، لأن الشمس بعيدة هي الأخرى عن الأرض، أما القمر فقريب منها نسبياً، ولهذا نجد أن تأثير الشمس يقتصر على تقوية تأثير القمر أو إضعافه.

وتستجيب مياه البحار والمحيطات جميعاً للقوى التي تحدث المد والجزر، سواء منها العميق أو الضحل. فكل قطرة من ماء المحيط من قاعه إلى سطحه تتأثر بتلك القوى، وهي بهذا تختلف كل الاختلاف عن قوى الأمواج. فالأمواج التي تحدثها الرياح رغم شدتها لا يتعدى تأثيرها المستويات المائية إلى عمق لا يزيد كثيراً عن مائة قامة بحرية. ففي مضيق مسينا Messina حيث تتقابل تيارات مدية تنشأ عنها دوامات مائية تحرك مياه المضيق جميعاً من قاعه إلى سطحه، وتقذف إلى البر بالأسماك والكائنات التي تعيش في الأعماق. والكتل المائية التي تحركها تيارات المد غاية في الضخامة، وليس أدل على ذلك من أن تيار المد يجلب إلى خليج فندي Fundy كتلاً من المياه تقدر بحوالى ١٠٠ مليون طن مرتين في اليوم الواحد.

ويحدث أعلى مد وهو المعروف بالمد الربيعي Spring tide مرتين كل

شهر، مرة حينما يكون القمر في المحاق، أي حينما يكون القمر مجرد خيط فيضي في السماء، وحينئذ يكون جذب القمر والشمس للماء في اتجاه واحد، والمرة الثانية حينما يكون القمر بدراً، وحينئذ يكون جذب القمر والشمس للماء في اتجاهين متقابلين. وفي كلتا الحالتين تكون الشمس والقمر والأرض على استقامة واحدة، وبذلك يتعاون جذب كلا الجرمين السماويين في جذب ورفع المياه عالياً على الشواطىء، ودفعها لترتطم بالصخور وتملأ المرافىء.

ويضعف المد مرتين في الشهر العربي: الأولى في الأسبوع الأول، والثانية في الأسبوع الثالث، وذلك حينما يكون القمر والشمس في اتجاهين متعامدين. ويسمى المد في كلتا الحالتين بالمد المنخفض. وهناك عدة عوامل تتدخل لتجعل حركة المد أكثر تعقيداً مما يظهر، فتأثير الشمس والقمر في تغير مستمر تبعاً لتباين أوجه القمر، ولاختلاف بعد القمر والشمس عن الأرض، كذلك لتفاوت موقع كل منهما إلى الشمال أو إلى الجنوب من الدائرة الاستوائية.

ويتباين مدى ارتفاع المد تبايناً كبيراً في مختلف جهات بحار العالم، فقد يعلو ويرتفع في جهة ما إلى حد كبير، بينما يضمحل ولا يكاد يحس به أحد في بقعة أخرى قد لا تبعد عن الأولى كثيراً. وأقصى ارتفاع يبلغه المد في العالم يحدث في خليج فندي Fundi، إذ يرتفع المد الربيعي عند رأس هذا الخليج في مياه حوض ميناس Minas بمقدار ١٥ م. وفي جهات أخرى ترتفع المياه وتنخفض في هدوء، ولا يزيد فيها الفرق بين المد والجزر عن قدم واحد (نحو ٣٠,٥ سم) ومنها البحر المتوسط.

وقد تمارس تيارات المد والجزر تأثيراً نحاتياً قوياً. فهي ذات أهمية واضحة في تكوين قنوات سفلى بل سطوح تعرية هينة الانحدار فوق قاع

الرفرف القاري، وحين تحتشد مياه المد في الخلجان الضحلة الضيقة فإنها تلاطم صخور سواحله وتمارس فعلها كعامل نحت ونقل وإرساب. فتيار المد الذي يسير بسرعة ٥ ميل بحري في الساعة أمام لسان هرست كاسيل Hurst Castle على ساحل هامبشير Hampshire يستطيع جرف الحصى حتى عمق يصل إلى نحو ٢٢ قامة بحرية.

(جـ) **التيارات البحرية**: هناك ثلاثة عوامل رئيسية تتسبب في تحريك المياه السطحية للبحار والمحيطات في صورة تيارات مائية نجملها فيا يلي:

١ - **الرياح الدائمة**: ويتناول تأثيرها مساحات واسعة من المسطحات المائية، وخاصة الرياح التجارية الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية التي تهب صوب خط الاستواء من الشمال ومن الجنوب. فهي تقوم بالدور الرئيسي في دفع المياه الاستوائية نحو أمريكا الوسطى حيث يخرج تيار الخليج ألدافىء الذي يعبر المحيط الأطلسي إلى غرب أوربا وشمالها الغربي.

٢ - **القوى الأرشميدية**: وتنشأ من تغيرات داخلية تحدث في كتل المياه وتسبب التفاوت في درجة كثافتها. وترجع هذه التغيرات إلى عاملي التمدد والانكماش في المياه نتيجة لتعرضها للحرارة والبرودة. وقد ترجع أيضاً إلى ازدياد في ملوحة المياه نتيجة للتبخير الشديد في المياه السطحية مثل ما يحدث في الجهات المدارية، أو قد تعزي إلى نقص في درجة الملوحة نتيجة لتدفق كميات عظيمة من المياه العذبة الناشئة عن ذوبان الجليد أو هطول الأمطار الغزيرة. ولا شك في تأثيرات هذه القوى خاصة في إحداث التباين والتغير الأفقي والرأسي في الأحواض المحيطية الكبيرة. وقد ظهر من الدراسات التي قامت بها البعثات الكشفية في المحيطين الأطلسي والجنوبي حقيقة هامة، وهي أن التساقط الغزير في هيئة مطر أو ثلج، وكذلك ذوبان

الجليد المتراكم فوق القارة القطبية الجنوبية لها تأثير واضح في تحريك مياه المحيط الجنوبي يمتد عبر خط الاستواء إلى نصف الكرة الشمالي. وهذا مثال يعطينا فكرة عن أهمية تلك القوى الأرشميدية وأثرها في تحريك المياه في صورة تيارات بحرية.

٣- دوران الأرض حول نفسها: وهو يولد قوة انحرافية تعرف بقوة كوريولي Corioli. وهي تؤثر في الغلاف الجوي كما تؤثر في المسطحات المائية. وهي ليست سبباً في الحركة الداخلية للمياه. وإنما هي تسبب انحرافها. فالمياه حين تتحرك في أي اتجاه تنحرف نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي وإلى اليسار في نصفها الجنوبي، وفضلاً عن قوة كوريولي تسهم أشكال السواحل وامتداداتها في التأثير على اتجاه مسار التيارات البحرية.

والتيارات البحرية بطيئة الحركة. وهي وإن كانت عظيمة الأثر من الوجهة المناخية إلاّ أنها لا تقوم إلاّ بنصيب محدود في تشكيل السواحل، فالتيارات الساحلية تحمل المواد الناعمة التي تصادفها في طريقها بجوار الشواطىء، وتنقلها إلى حيث ترسبها في منطقة شاطئية أخرى، ولهذه العملية أهميتها في بعض الشواطىء، إذ أنها تزيح نتاج تعرية الأمواج، وتكشف أسافل الجروف التي تتعرض من جديد لغزو الأمواج.

ثانياً- طبيعة السواحل:

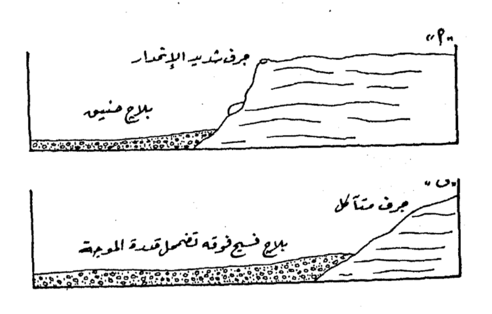
يتوقف مدى استجابة السواحل لتأثير التعرية البحرية على عدة أمور: منها ما يختص بطبيعة الصخور المكونة لها وصلابتها ومقدار ما بها من شروخ وفواصل ومدى قابليتها للتأثر بالتجوية الكيماوية، ومنها ما يختص بالتفاوت في ارتفاع الجروف البحرية نظراً لأنه كلما ارتفع الجرف كلما ازدادت كمية

المواد التي يمكن نحتها لتسبب تراجعاً معلوماً للساحل، وأخيراً توجيه الساحل بالنسبة للأمواج السائدة ودرجة تسننه ثم طبيعة قطاع الشاطىء.

وتعتبر صلابة صخور الساحل ومقدار ما بها من فواصل وشروخ من أهم الأمور التي تؤثر في عمل التعرية البحرية. فكلما اشتدت صلابة الصخر وقلت نسبة الفواصل فيه كلما ضعف تأثير التعرية في الساحل. ويعظم فعل التعرية البحرية في الصخور الهشة اللينة: مثال ذلك الساحل الشرقي لانجلترا الذي يتركب في معظمه من رواسب تنتمي لعصري البلايوسين والبلايوستوسين، فهو يستسلم لفعل الأمواج بسهولة. وتتركب سواحل سسيكس Sussex وهامبشير Hampshire من صخور إيوسينية وأوليجوسينية وبلايوستوسينية لينة تستجيب بسرعة لتأثير التعرية البحرية. وسرعة فعل التعرية في هذه الصخور الهشة تنذر بالخطر إذ أن هذه السواحل تتراجع سنوياً بمعدل يتراوح بين ٢- ٣م، بل أمكن تسجيل تراجع في بعض الأجزاء يتراوح بين ٤- ٦م في السنة. ولعل أسرع السواحل تآكلاً ساحل جزيرة كراكاتاو التي تقع بين جزيرتي سومطرة وجاوة. فقد تراجعت الجروف التي تتركب من الرماد البركاني ١,٦ كم في الفترة بين عامي ١٨٨٣- ١٩٢٨، وتبين أن الساحل يتراجع في بعض المناطق بمعدل ٣٠م كل عام. وتعاني الدلتا المصرية في السنين الأخيرة من تآكل ساحلها الشمالي، وتبذل الهيئات المختصة جهوداً كبيرة في سبيل تثبيته عن طريق بناء محطات الأمواج والحواجز الخرسانية.

ولكي تستمر التعرية في عملها بالمعدلات المشار إليها ينبغي على البحر أن يكتسح المواد التي تتآكل من الجروف، وإلاّ فإنها تتراكم مكونة لشواطىء فسيحة وألسنة وحواجز رسوبية تعمل جميعاً على تبديد طاقة الأمواج، وتمنع ولو مؤقتاً غزو الأمواج لقواعد الجروف، وتعمل التيارات البحرية الشاطئية

على تحريك المواد المنحوتة وإبعادها، ومثل هذه التيارات تدفع بالمواد في حالة انجلترا من الشمال إلى الجنوب على ساحلها الشرقي، ومن الغرب إلى الشرق على ساحلها الجنوبي. وفي حالة الدلتا المصرية يدفع تيار البحر المتوسط الغربي رواسبها أمامه شرقاً ليرسبها على الشاطىء الفلسطيني. ويمكن التعرف على ما إذا كانت التعرية ما تزال دائبة نشيطة في الجرف أم لا عن طريق دراسة القطاع العرضي للجرف: فتمكن مشاهدة آثار النحر عند قاعدة الجرف الذي ما يزال يعاني من التعرية، كما تحمل أعاليه شواهد لعمليات الانزلاق والانهيار النشيطة لمواده الهشة؛ بينما تتآكل أعالي الجروف وتنمو عليها النباتات إذا توقفت أو ضعفت فيها عمليات التعرية (شكل ١٢٨).

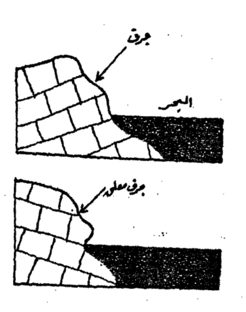


شكل (١٢٨) جروف ساحلية في صخور لينة.
(أ) تعرية بحرية نشيطة.
(ب) تعرية بحرية غير نشطة.

ويمكن القول عامة أن التعرية تكون عظيمة النشاط في الجروف اللينة الصخور في البداية، ثم تضمحل بالتدريج حتى تتوقف تماماً، ما لم يكتسح البحر المواد الصخرية التي انتزعت من الجرف بعيداً حتى لا يعرقل فعل الأمواج عند حضيضه.

أما تعرية الصخور الصلبة: فتختلف عن ذلك كثيراً. فهنا نجد للفواصل والشروخ أهمية كبيرة، فهي تسمح بنفاذ فعل البحر، كما تؤثر على تفاصيل شكل الجرف والرصيف الصخري التحاتي الموجود أمامه. وتتسع الفواصل والشروخ بفعل التأثير التحاتي للمواد الصخرية التي تتداخل فيها بدفع الأمواج، وبسبب الضغوط التي تولدها قوة الموج حينما يتكسر على الجروف. وقد تكبر الفواصل وتتحول إلى مداخل ضيقة وعميقة. وقد تتسع الشروخ والكسور بفعل البحر وتتحول إلى كهوف بل إلى أنفاق خلال الرؤوس الأرضية الضيقة. ويشاهد مثلها عند تنتاجل Tentagel في شمال كورنوول. والنتيجة النهائية لفعل التعرية البحرية على طول الفواصل وسطوح الضعف الصخرية الأخرى هي تكوين المسلات البحرية. وسيرد ذكر ذلك كله تفصيلاً فيما بعد.

ونمط توزيع الفواصل له أهمية كبيرة في التحكم في طبيعة القطاع الجانبي للجرف. فحينما تميل الطبقات نحو البحر، فإن الكتل الصخرية تتكسر عند سطوح الفواصل بزوايا قائمة على سطوح الانفصال الطبقي، ولهذا يسود ميل الطبقات قطاع الجرف. وحيثما كانت الطبقات رأسية أو أفقية أو تميل صوب اليابس، فإن كتل الصخر لا تستطيع التكسر عند سطوح الفواصل وتنزلق على سطوح الانفصال الطبقي، ومن ثم فإن الجروف تميل إلى الوقوف في وضع قائم أو قريب منه.



شكل (١٢٩) تأثر انحدار الجرف باتجاه ميل الطبقات.

وتنشأ أشكال مهمة أيضاً حينما تتركب الجروف من صخور متفاوتة الصلابة، خصوصاً إذا ما ارتكزت صخور صلبة مقاومة على صخور لينة هشة. فقد يساعد ذلك على حدوث انهيارات أرضية واسعة النطاق، نتيجة لسرعة تآكل الطبقات الهشة السفلى بفعل الأمواج، وانزلاق الكتل الصخرية الصلبة وانهيارها من فوقها. وهناك أمثلة عديدة لذلك في سواحل جنوب انجلترا.

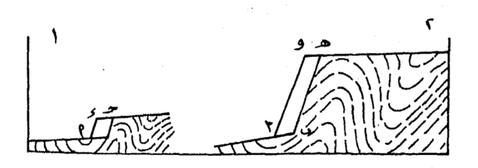
هذا وينبغي أن لا نهمل أثر الفعل الكيميائي في الصخور الجيرية وغيرها من الصخور التي تقبل الإذابة أو الكربنة والتي تدخل في تركيب الجروف والشواطيء، ووجه الصعوبة في هذا الشأن يتمثل في أن البحر في كثير من جهاته يبدو مشبعاً بكربونات الكالسيوم. ومع هذا فلا يمكن انكار أثر الإذابة وخلقها لأشكال خاصة مميزة. ولهذا فقد اقترح البعض لتفسير ذلك أن المياه العذبة التي ترشح من اليابس عند منسوب البحر هي المسئولة

عن إذابة مثل هذه الصخور الجيرية، وعلى الرغم من احتمال هذا التفسير إلاّ أنه لا ينطبق على السواحل في المناطق الجافة وشبه الجافة التي يبدو فيها أثر الإذابة واضحاً أيضاً، ومنها سواحل البحر الأحمر، ولهذا كان من الضروري البحث عن أسباب أخرى لتفسير عملية الإذابة الكيميائية نذكر من بينها التفاوت اليومي فيما تحويه المياه الشاطئية من ثاني أوكسيد الكربون. فنظراً لأن مقدرة المياه على إذابة ثاني أوكسيد الكربون تزداد بتناقص الحرارة، فإن برودة مياه البحر أثناء الليل تؤدي إلى زيادة حامضية المياه، وتبعاً لذلك تزيد من قدرتها على إذابة الصخور الجيرية. ويحدث الاختلاف اليومي لما تحويه المياه من ثاني أوكسيد الكربون لسبب آخر، ألا وهو نشاط الكائنات البحرية النباتية. فهي تمتص هذا الغاز من ماء البحر أثناء النهار لتقوم بعملية التمثيل الخضيري. ويؤدي نقصه في المياه حينئذ إلى إرساب جزيئات دقيقة من كربونات الكالسيوم، وهذه المواد الراسبة تزيحها الأمواج أثناء حركتها. وفي الليل تخرج النباتات ثاني أوكسيد الكربون الذي يؤدي إلى زيادة حامضية مياه البحر، وهذه تعمل بدورها على كربنة الصخور الشاطئية بالإضافة إلى ما قد تذيبه من المواد الجيرية التي تم إرسابها أثناء النهار.

ويستطيع الفعل الكيميائي لمياه البحر أن يؤثر أيضاً في بعض المعادن التي تدخل في تركيب صخور السواحل، ومن ثم يعمل على سرعة تفككها وتحللها، فقد وجد أن معادن الفلسبار الأرتوكلاسي والهورنبلند وكذلك صخور البازلت والأوبسيديان تتحلل في المياه المالحة بسرعة تتراوح بين ٣- ١٤ مرة قدر سرعة تحللها في المياه العذبة.

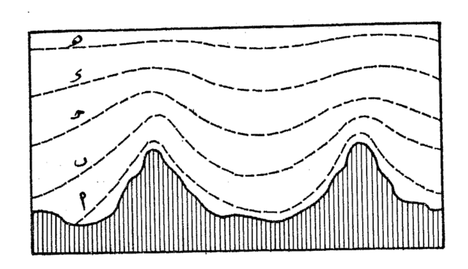
ولارتفاع الجروف أثره الكبير في درجة تآكلها وتراجعها نحو اليابس، فالجروف القليلة الارتفاع تتراجع بسرعة تفوق سرعة تراجع الجروف الأكثر

منها ارتفاعاً، هذا إذا تساوت وتماثلت معدلات التعرية البحرية وطبيعة الجروف وتركيبها الصخري. ذلك أنه حين تحدث التعرية البحرية قطعاً معلوماً في الجرف فإن كمية مواده التي تنهار على الشاطىء لا بد وأن تتناسب مع ارتفاع الجرف؛ ففي الشكل (١٣٠) نجد أن كمية الحطام الصخري التي تتساقط مع قطع الجرف أ ب جـ د لا بد وأن تكون أقل حجماً من كمية المواد التي تنهار من قطع الجرف أ ب هـ و (وهو الجرف المرتفع). ويتراكم الحطام الصخري المنهار عند حضيض الجرف فيحميه من فعل البحر. ولكي تمارس التعرية البحرية عملها في حضيض الجرف من جديد لا بد لها أن تفتت الحطام الصخري الذي إنهار وتحوله إلى حبيبات ذات أحجام معينة تستطيع تحريكها وإزاحتها من حضيض الجرف. ولا شك أنها تنجز عملها هذا في حالة الجرف المرتفع في زمن أطول منه في حالة الجرف المنخفض.



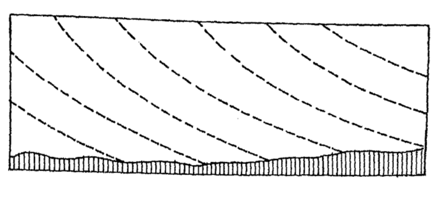
شكل (١٣٠) تأثير ارتفاع الجرف في سرعة تراجعه.

ويبقى بعض ذلك أن نشير إلى توجيه الساحل ومدى تعرضه لأمواج الهدم. لا شك أن أي جرف أو رأس أرضي يواجه الاتجاه الذي تأتي منه أضخم الأمواج يكون معرضاً لغزوها العنيف. وينطبق هذا خصوصاً على



شكل (١٣١) تأثير التكسر على الأمواج المتقدمة نحو الشاطىء.

الرؤوس الأرضية نتيجة لظاهرة تكسر الأمواج. فأي موجة تقترب من الساحل آتية من عرض البحر تعبر أولاً مياهاً ضحلة قبل وصولها إلى الرأس، وحينما تجري الأمواج في المياه الضحلة فإن حركتها تعاق، ومن ثم تضمحل سرعتها، ويتضح هذا على الخصوص حينما يقل عمق المياه فيصبح نصف طول الموجة. وينشأ عن ذلك أيضاً ازدياد في ارتفاع الموجة. ففي الشكل (١٣١) نجد المياه الضحلة تؤثر في الموجة هـ تأثيراً طفيفاً مسببة تعرجاً هيناً في جبهتها. ويزداد تأثير المياه الضحلة شيئاً فشيئاً في إعاقة الأمواج د، جـ، ب، أ على التوالي مع اشتداد مستمر في درجة تكسر الأمواج. وفي النهاية نجد الموجة أ تتكسر على طرف الرأس وعلى جوانبه أيضاً. ونتيجة لذلك نجد تركيزاً في التعرية البحرية على الرؤوس الأرضية. ويؤدي هذا في النهاية إلى تآكلها واستقامة خط الساحل. وحتى في الحالات التي لا يواجه فيها الساحل اتجاه الأمواج مباشرة، فإن التكسر يجعل الأمواج تنحرف وتصل إلى الشاطىء أقل ميلاً منها وهي بعيدة عنه في عرض البحر (شكل ١٣٢).



شكل (١٣٢) أمواج مائلة تتقدم نحو الساحل.

ثالثاً- التغيرات في مستوى البحر:

يقصد بمنسوب البحر في أبسط صورة المستوى العام لسطح مياهه بافتراض عدم تأثره بحركة المد والجذر أو الأمواج. وقد يكون للذبذبة في منسوب البحر بالنسبة لليابس أثرها الكبير في شكل الساحل، نظراً لأن أي ارتفاع أو هبوط في مستوى المياه حتى ولو لبضعة ديسيمترات بالنسبة لساحل منخفض يمكن أن يسبب تغيرات عظيمة في شكله. وحينما يكون التغير في المنسوب عالمياً يشير إلى حركة فعلية في مستوى البحر ذاته، فإن آثاره تتناول كل السواحل البحرية. وتعرف مثل هذه التغيرات بالذبذبات الإيوستاتية eustatic.

وترتبط أعظم الذبذبات الإيوستاتية أهمية بالتغيرات المناخية التي حدثت أثناء العصر الجليدي وبعده. ففي أثنائه انتزعت كميات هائلة من مياه البحار والمحيطات لتتراكم على اليابس في هيئة غطاءات جليدية ضخمة. وترتب على ذلك انخفاض عالمي في منسوب البحار تراوح في مختلف الفترات الجليدية بين ١٠٠- ١٥٠ م. وبعد انقضاء العصر الجليدي وتحسن

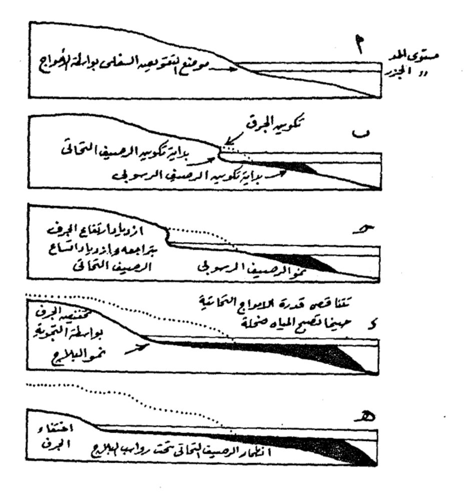
أحوال المناخ ذاب جليد الغطاءات الجليدية وانصرفت مياهه إلى البحار فارتفع مستواها. ويعتقد أن الغطاءات الجليدية المتبقية فوق يابس العالم ما تزال تختزن مياهاً كافية لرفع منسوب البحار العالمية بنحو ٥٠ م. ويقدر معدل الارتفاع الإيوستاتي في مختلف بحار العالم في وقتنا الحاضر بما يتراوح بين ١,١٢ – ١,١٨ ملم في السنة، هذا وتحدث كثير من الذبذبات المحلية التي يقتصر تأثيرها على جهات معينة يصيبها تقوس أو ميل موضعي أو هبوط انكساري أو انخفاض أو ارتفاع أيزوستاتي.

ولم يقتصر حدوث الذبذبات في المستوى النسبي لمياه البحر على العصور الجيولوجية وحدها، وإنما تعداها إلى العصور التاريخية، بل ويمكن قياسها وملاحظاتها في وقتنا الحاضر. ففي جنوب السويد استطاع علماء مثل سيلسيوس Celcius أن يقوموا بدراسات وملاحظات دقيقة، وأن يسجلوا حدوث ذبذبات واضحة في المنسوب النسبي للبحر، وواصل البحاث المحدثون القيام بعملهم، وقد سبقت الإشارة إلى بعض من نتائج أبحاثهم في هذا الصدد. وقد أمكن العثور على كثير من الشواهد البشرية الأثرية كبقايا مراكز الاستقرار في العصور الحجرية ومخلفات يونانية ورومانية، والأدلة النباتية كمخلفات الغابات الغارقة، وكلها توجد في وقتنا الحالي أسفل مياه البحر بجوار الشواطيء التي أصابها الهبوط والإغراق. ومن الشواهد الطبيعية ما يشير إلى ارتفاع المناطق الساحلية، ومنها الشواطيء المرتفعة والجروف البحرية القديمة التي تقف الآن بارزة فوق مستوى البحر الحالي. وصفوة القول أن للتغيرات في منسوب البحر آثارها الهامة في اظهار شواطيء وسواحل جديدة تنكشف لفعل البحر، وتتعرض لفعل الأمواج التي تخلع عليها أشكالاً وصوراً جديدة.

مظاهر النحت البحري:

١ - الجروف **Cliffs**: وهي من الظاهرات الجيومورفولوجية الهامة التي يرتبط تكوينها بفعل البحر. وتتفاوت هذه الجروف في تكوينها وتفاصيل أشكالها تفاوتاً كبيراً. ويتوقف هذا على طبيعة الصخر ونظام بنائه وغير ذلك من الأمور التي سبقت دراستها عند الكلام على طبيعة السواحل.

فالصخور الصلبة المتماسكة ومثلها الحجر الرملي الأحمر القديم والصخر الجيري المندمج والجرانيت يتم نحتها تراجعياً ببطء شديد، ولهذا فهي تنشىء جروفاً شديدة الانحدار تقف قائمة كرؤوس أرضية Headlands. أما الصخور الهشة القليلة المقاومة لتأثير البحر، فإن نحتها يتم بسرعة، فتتكون بذلك الخلجان البحرية. ومع هذا فإن تكوين الجروف لا يقتصر في الواقع على الصخور الصلدة المقاومة وحدها، بل يتعداها إلى الصخور الطباشيرية المشهورة بليونتها. فهي تكون جروفاً شديدة الانحدار على سواحل كثير من جهات الجزر البريطانية. ومثلها الجروف الممتدة على سواحل دورسيت Dorset المطلة على بحر المانش، وجزيرة وايت Wight وساحل سيكس Sussex وشرق كنت Kent وأجزاء من ساحل يوركشير والساحل الفرنسي على المانش. وتبدو طبقات الصخر الطباشيري أفقية في بعض الجهات كما في ساحل يوركشيروسيكس، وفي الأخيرة يصل ارتفاعها أحياناً إلى ١٥٠ م. وقد تأثر الصخر الطباشيري في بعض الجهات بالالتواء حتى لتبدو الطبقات شديدة الميل. ويبدو أن الضغوط الإلتوائية قد عملت على ادماجه على غير العادة، فبقي متماسكاً لدرجة أنه قد صمد لفعل البحر الذي اقتطع منه أجزاء مكوناً لمسلات تبدو طبقاتها الصخرية شبه قائمة. وتتراجع مثل هذه الجروف بسرعة، إذ أن عملية التقويض السفلى للأمواج في قواعد الجروف تؤدي إلى تكرار تساقط الصخور المعلقة



شكل (١٣٣) مراحل تكوين الجرف والرصيف التحاتي.

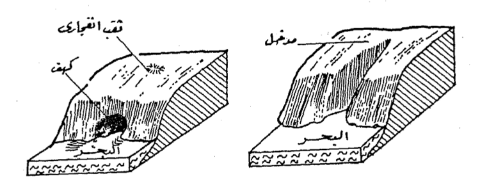
وتنشط عملية تساقط الصخور وانزلاقها حينما يتألف الجرف من صخور مندمجة ترتكز على صخور هشة. ففي بعض أجزاء من ساحل انجلترا الجنوبي وجزيرة وايت ترتكز الصخور الطباشيرية على رواسب صلصالية. وحينما تتساقط الأمطار بغزارة يتشبع الصلصال بالمياه ويصبح لزجاً، فيسبب انزلاقات في الجروف يصل مداها على امتداد طولها إلى بضعة كيلو مترات، هذا على الرغم من أن الطبقات تميل نحو اليابس.

ومن الممكن أن تنشىء التعرية البحرية في التكوينات الصلصالية الجليدية رغم ليونتها جروفاً شديدة الانحدار، وذلك بسبب سرعة التقويض السفلي الذي تمارسه الأمواج. ونشاهد هذه الظاهرة في بعض سواحل بريطانيا ومنها سواحل يوركشير. وتتراجع تلك السواحل نحو اليابس بسرعة معدلها السنوي بين ١,٨ م– ٢ م. وقد قدر أنه لو أن معدل التراجع الحالي ظل مستمراً منذ العهد الروماني حتى وقتنا الحالي، فإن شريطاً من اليابس الساحلي يبلغ متوسط عرضه ٤ كم قد أكله البحر تماماً منذ لك العهد. وقد أصبحت مواقع كثير من مراكز الاستقرار القديمة مجرد أسماء في سجلات التاريخ أو على الخرائط القديمة، فقد ابتلعها البحر ولم يعد لها وجود على اليابس البريطاني.

وتظهر الجروف البحرية في بعض أجزاء الساحل الشمالي الغربي لمصر المعروف بساحل مريوط، خصوصاً فيما بين رأس الضبعة ورأس علم الروم حيث تبرز صخور الهضبة الجيرية الميوسينية في البحر على شكل رؤوس وجروف شديدة الانحدار تلاطم الأمواج أسافلها. وإلى الغرب من مرسى مطروح تبتعد الهضبة عن البحر أحياناً، وتقترب منه أو تشرف عليه على شكل جروف خصوصاً عند الرؤوس أحياناً أخرى. ومن أجمل الجروف ما يشاهد منها عند رأس الحكمة، ورأس علم الروم، وفي منطقة عجيبة (غربي مرسى مطروح) وعند رأس السلوم.

الكهوف والأقواس والمسلات البحرية: وهي جميعاً ظاهرات ثانوية تنشأ بفعل الأمواج أثناء عمليات تكوين الجروف التي تتركب من صخور صلدة. وتتكون الكهوف على امتداد خطوط ضعف عند قواعد الجروف التي تتعرض فترة طويلة لفعل الأمواج. ويبدو الكهف Cave في هيئة نفق اسطواني الشكل يمتد داخل الجرف متتبعاً خط الضعف الصخري،

ويتناقص قطره من مدخله صوب داخليته (شكل ١٣٤). وإذا حدث وكان هناك فاصل Joint في صخر سقف الكهف يمتد من حوالى نهايته رأسياً إلى سطح الجرف، فإنه يتسع بمرور الزمن، ثم يتفتح الجرف مكوناً لما يعرف بالثقب الانفجاري Blow hole (شكل ١٣٤). ويبدو أن هذا التعبير قد اشتق من عملية تكوين الثقب ذاته التي تحدث نتيجة لتتابع انضغاط الهواء المحتبس في الكهف وخلخلته بشكل انفجاري (وهي نفس العملية التي تؤدي إلى توسيع وتعميق أو إطالة الكهف في داخل الجرف)، ثم من ظاهرة انبثاق المياه خلاله وخروجها إلى سطح الجرف مندفعة في الجو. ويحدث انبثاق المياه خلاله بواسطة قوة ضغط الأمواج حينما تدلف بعنف في داخل الكهف أسفل قصبة الثقب.



شكل (١٣٤) كهف وثقب انفجاري ومدخل بحري.

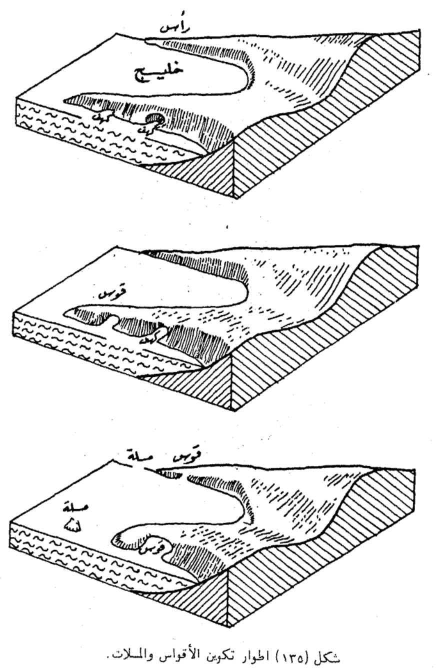
وبمرور الزمن مع استمرار فعل الأمواج يتسع الكهف ويرق سقفه فينهار، ويظهر بذلك مدخل Inlet في الجرف طويل وضيق (شكل ١٣٤) يعرف باسم جيو Geo في جزر أوركني Orkneys بشمال اسكتلندا. ويمكنك أن تشاهد مدخلاً مماثلاً في جرف عجيبة يعزوه بعض الجيولوجيين لعمليات انكسارية، ونرجعه إلى فعل التعرية البحرية. وإلى الشرق منه

مباشرة يبدو الجرف وقد تآكل قرب اتصاله بالبحر إذ تمتد بداخله فجوة Notch سقفها ما يزال صلداً متماسكاً لكن مصيره إلى الانهيار، فالفجوة تتعمق باستمرار في داخل الجرف؛ إذ قد تطولها الأمواج خاصة في الشتاء.

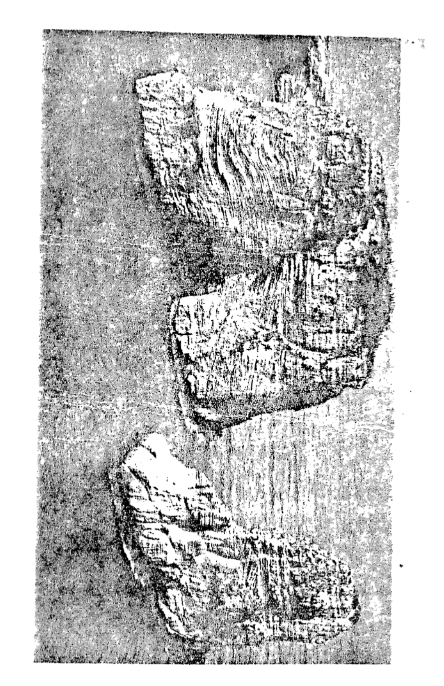
وتنشأ **الأقواس** حينما يمتد اليابس في هيئة رأس أو لسان في البحر، فتنحت الأمواج في كلا جانبيه كهوفا ما تلبث باستمرار فعل الأمواج أن يتصل منها كل كهفين متقابلين، فيتكون من ذلك قوس أو قبو Arch بحري طبيعي. وحينما ينهار سقف القوس تبقى نهاية الرأس أو اللسان في البحر قائمة **في شكل مسلة** Stack، ومآلها هي الأخرى إلى الزوال. ويمكنك أن تتبع أطوار تكوين الأقواس والمسلات في الشكل رقم (١٣٥). ومن أمثلة الأقواس البحرية القوس الذي نحرته الأمواج في صخرة (مسلة) الروشة الكبيرة الجيرية التركيب أمام ساحل بيروت (شكل ١٣٦)، وأقواس شواطيء جزيرة كابري (جنوب ساحل نابولي بإيطاليا) وقوس دردل دور Durdle Door بساحل دورسيت بجنوب انجلترا وغيرها كثير. ومن أشهر مسلات ساحل مريوط ما يوجد منها في منطقة عجيبة، وهي تتألف من صخور جيرية، ومثلها المسلتان الموجودتان أمام ساحل بيروت (إحداهما الكبيرة المشار إليها آنفاً) والمعروفتان باسم «الروشة». وهناك مسلات بحرية شهيرة في شواطيء جزيرة كابري، ويوجد الكثير منها في شواطيء الجزر البريطانية: منها ما يتركب من صخور طباشيرية ومثلها النيدلز Needles بشواطيء جزيرة وايت، أو صخور رملية في شواطيء جزر أوركني، ومنها ما يتألف من صخور نارية في غرب جزر هبريدا الخارجية.

وإذا ما أردنا أن نجعل لقطاع الشاطيء دورة تعرية، فإن هذه المرحلة التي تتميز بجروف غير منتظمة وشديدة الانحدار، وبسواحل تكتنفها الرؤوس والخلجان، يمكن اعتبارها مرحلة شباب Youth stage

الرصيف البحري التحاتي Wave-cut Platform: ويرتبط تكوينه بنحت الأمواج وتراجع الجروف. ويوضح الشكل (١٣٣) ا، ب، جـ، د،



شكل (١٣٥) اطوار تكوين الأقواس والمسلات.



شكل (١٢٦) صخرتا الروشة أمام ساحل بيروت مسلتان بحريتان

هـ) مراحل تراجع الجرف ونكوين الرصيف التحاتي (أنظر ص ٣٧٣) ففي الشكل (١٣٣ ا) نرى بداية فعل التعرية البحرية في هامش اليابس الذي تلامسه مياه عميقة نسبياً وفي الشكل (١٣٣ ب) يتكون الجرف نتيجة للنحت والتقويص السفلي، كما ينشأ الرصيف التحاتي نتيجة لتراجع الجرف نحو اليابس أما المواد الصخرية التي نتجت عن تآكل الجرف فإنها تتأرجح في حركتها بواسطة الأمواج بين دفع وسحب فيما بين علامتي المد والجزر. وفي النهاية نجد قسما كبيراً من هذه المواد التي يسحق بعضها بعضاً بواسطة الاحتكاك Attrition يتحرك إما صوب البحر لكي يتراكم أسفل المستوى الذي عنده يتلاشى فعل الأمواج (حوالي نهاية الرصيف التحاتي تجاه البحر) مكونا لشط bank أو مصطبة رسوبية (شكل ١٣٣ ب)، أو قد يدفعه تيار ساحلي أمامه حيث يرسبه في مكان آخر.

وتعمل المواد الصخرية أثناء تحركها جيئة وذهاباً فوق الرصيف التحاتي الذي ينحدر إنحداراً هينا نحو البحر على نحره وصقله باستمرار. ومن أشهر الأرصفة البحرية التحاتية الرصيف البحري بغرب النرويج Strandflat الذي يبلغ إتساعه أكثر من ٥٠ كم. وهو ما يزال آخذاً في الاتساع نتيجة لسرعة تراجع الجروف البحرية بسبب نشاط عوامل التجوية خصوصاً فعل الصقيع، بالإضافة إلى أن الأمواج العاتية قادرة على إزالة المواد الصخرية باستمرار، وبالتالي فإن الجروف تظل مكشوفة معرضة لفعل الصقيع والأمواج. ومثال آخر لرصيف بحري قديم فسيح نجده إلى الشرق من السلوم. يظاهره جرف قديم يتمثل في حافة الهضبة الجيرية الميوسينية، وتحد نهايته الغربية من جهة البحر الجروف البحرية الحالية عند رأس السلوم وعلى إمتداد الساحل الغربي لجزيرة مالطة التي تتركب من صخور جيرية سنمي للزمن الثالث نجد رصيف بحري فسيح مستوى من

صنع الأمواج. وما سهل بنغازي الذي يبدو بشكل مثلث رأسه في الشمال وقاعدته في الجنوب (إتساعها ٥٠ كم)، إلا رصيفاً بحرياً تكون أثناء عصر البلايوستوسين.

وحينا ننظر إلى الشكل (١٣٣ ح) نرى الجرف بتراجعه قد أصبح أكثر إرتفاعا، كما أن الرصيف التحاتي قد إزداد إتساعا، ويزداد عرض المصطبة الرسوبية أيضاً.

وعندما يصل الرصيف التحاتي إلى إتساع معين فإنه يتغطى بمياه ضحلة (شكل ١٣٣ د). وتبعاً لذلك يقل تأثير الأمواج، فتضمحل التعرية البحرية، ثم تتوقف تماماً (شكل ١٣٣ هـ)، وتكون بذلك قد وصلت في دورتها إلى مرحلة النضج Stage of maturity، فيصبح قطاع الشاطيء وقد تشكل بجرف بحري ينحدر إنحداراً هيناً نحو البحر، فيه ما تزال التعرية القارية تمارس فعلها، وبرصيف صخري قد تغطيه طبقة رقيقة من الرواسب، وبمصطبة رسوبية، وتصبح لعمليات النقل والإرساب أهمية متزايدة.

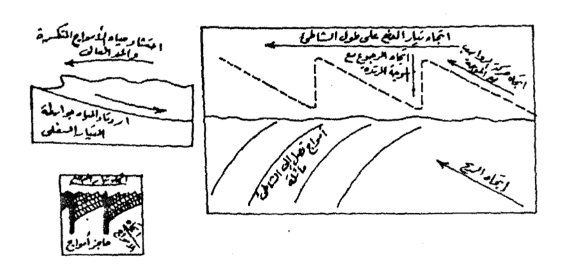
ومن الممكن أن تتابع الدورة إلى مرحلة الشيخوخة Stage of old age فندعي ولو من الوجهة النظرية أن الجرف سيتآكل بواسطة التعرية القارية، فيتراجع إلى أن يصبح الانحدار هيناً بدرجة غير ملموسة (شكل ١٣٣ هـ)، ويزداد تراكم المواد فوق المصطبة الرسوبية باستمرار. ومن المحتمل أن بعض السهول التحاتية الساحلية Peneplains التي توجد الآن فوق منسوب البحر قد تكونت نتيجة لعمليات تعرية وتسوية بحرية واسعة المدى، دأبت في عملها خلال العصور الجيولوجية وكان نطاق الساحل أثناءها يتعرض لهبوط تدريجي بطيء.

النقل البحري:

تتألف «حمولة» الأمواج المتكسرة من الطين والرمال والحصى. وهي متعددة المصادر: فبعضها يأتي من رواسب الأنهار التي تصب في البحر، وبعضها من الانزلاقات والانهيارات على الجروف، والباقي يصدر من نحت الأمواج، وتتحرك المواد على إمتداد الشاطيء بفعل الأمواج والتيارات البحرية الساحلية وتيارات المد والجزر.

ولا شكل أن العامل الأهم في نقل المواد هو الأمواج، فهي تدفع بالرواسب نحو الساحل وتسحبها معها حين ترتد إلى البحر. وحينا يكون إتجاه الأمواج المتكسرة مائلا بالنسبة للساحل، فإن الموجة المندفعة نحوه (تعرف باسم Swash) تتحرك فوق الشاطيء مائلة، لكنها حين ترتد إلى البحر (تسمى حينئذ Backwash) تعود في إتجاه عمودي على الشاطيء كما يتضح من الشكل (١٣٧). ومحصلة الحركتين هي نشوء تيار دفع على طول الشاطيء Longshore drift يعمل على نقل الرواسب بالتدريج على إمتداده كما ترى في الشكل (١٣٧). وتتوقف حركة تيار الدفع أو تعرقل طبيعيا عندما يصطدم بلسان أرضي يبرز في البحر، أو حينا يصل إلى مياه خليج عميقة. ويمكن إيقافه إصطناعيا عن طريق بناء الحواجز والمصدات grones الخشبية أو الخرسانية في وضع عمودي على إتجاه تيار دفع الرواسب (شكل ١٣٧).

وتعتبر التيارات السفلى من عوامل النقل البحري الهامة. والتيار السفلي Undertow (تيار السحب) هو تيار رجعي (تعويض أو موازنة) ينشأ نتيجة لاحتشاد مياه الأمواج عالية فوق الشاطيء ثم إرتدادها سفلياً نحو البحر، فيجرف معه الرواسب الشاطئية إلى المياه العميقة. وتستطيع تيارات الجزر أن تكتسح كثيراً من المواد إلى عرض



شكل (١٣٧) حركة الرواسب مع الموجة المتقدمة والمرتدة.

البحر خاصة في مناطق المصبات الخليجية حين يعاونها تيار النهر السريع. وعادة ما تستطيع **التيارات البحرية الساحلية Currents** تحريك كثير من المواد الدقيقة بموازاة الساحل أسفل مستوى الجزر، كما هي الحال على إمتداد الساحل البلجيكي الهولندي، والساحل الشمالي لمصر. وينبغي ألا نهمل أثر الرياح في نقل مواد الشاطيء. فهناك مساحات كبيرة من الشواطيء المنبسطة المفتوحة تتعرض موادها الهشة لعمليات النقل بواسطة الرياح. فحينما تهب رياح قوية تصبح رمالها في حركة دائبة، وقد تستطيع الرياح نقل جزء من الرمال إلى الداخل.

الارساب البحري:

عادة ما تجد المواد التي نحتها فعل الأمواج من هوامش اليابس مستقرها الأخير في البحر. فالمواد الخشنة تتحرك جيئة وذهابا، وقد تترسب مؤقتاً في مكان ما على الشاطيء. ولكن الأمواج ما تزال تتقاذفها فتحتك ببعضها وتطحن، ويتضاءل حجمها إلى حبيبات دقيقة، وفي النهاية تترسب على قاع

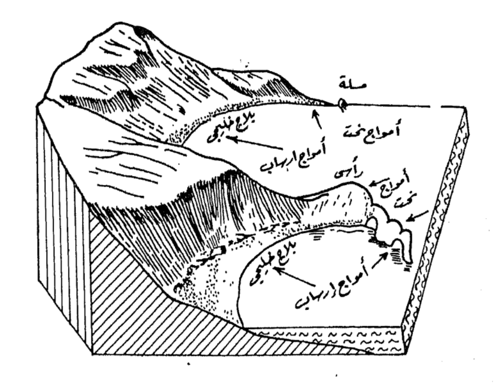
البحر أسفل مستوى تأثير الأمواج، أو تتحرك بعامل أو بآخر من عوامل النقل البحري لتتراكم مكونة لظاهرات إرساب سيرد ذكرها بعد قليل. وبالاضافة إلى المواد التي تنحتها الأمواج والرواسب التي تجلبها إلى البحر عمليات التعرية القارية، قد تحتوي رواسب الشواطيء أيضاً على مواد مصدرها سطح الرفرف القاري المجاور لها، ففي أثناء الطقس العاصف قد تتمكن الأمواج العاتية من إحداث إضطراب وخضخضة في رواسب قاع البحر، فتصبح مصدراً لمواد تطرحها الأمواج على الشاطيء.

ويصنف البحر حمولته حين الارساب كما تفعل الرياح والأنهار. فحين نتجه من خط الساحل على الشاطيء نحو البحر، نصادف تتابعا في تصنيف الرواسب يبدأ بالجلاميد فالحصى ثم الرمال فالطين. وتختلف طبيعة المواد من الوجهة البتروجرافية حسب طبيعة صخور المنشأ وأهمها صخور الجروف البحرية. وقد تتألف رواسب بعض الشواطيء كلية من رمال جيرية صدفية (عضوية) الأصل بيضاء اللون، كرمال شاطيء مريوط، وبعض شواطيء إنجلترا الجنوبية وشمال فرنسا وغربها. وقد اشتقت تلك الرمال من بقايا أصداف كائنات عضوية بحرية تعيش على القاع البحري المجاور لتلك الشواطيء، وقد جرفتها الأمواج الشديدة وألقت بها فوق الشواطيء.

مظاهر الارساب النهري:

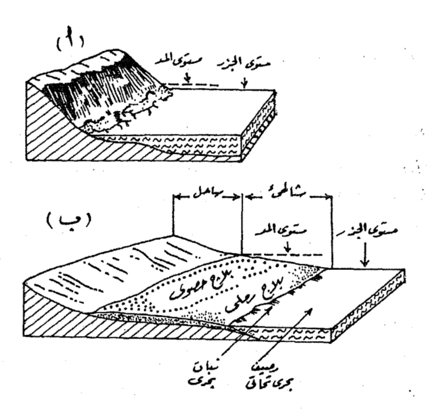
تتشكل السواحل والشواطيء بظاهرات مورفولوجية متنوعة نتيجة للارساب البحري أهمها ما يلي:

١ - البلاج Beach وحافاته الحصوية Beach-ridges: يستخدم لفظ بيتش beach أي « بلاج » للدلالة على تراكمات الحصى والرمال فيما بين



شكل (١٣٨) تكوين البلاج الخليجي.

أدنى حد يصله الجزر وأعلىحد تبلغه الأمواج العاصفة، أي فوق أرض الشاطيء Shore. وقد ينعدم وجود «البلاج» في السواحل المرتفعة التي يسودها النحت البحري، أو قد تكون مجرد مجموعة غير مستقرة من الجلاميد والحصى تتقاذفها الأمواج عند حضيض الجروف. وقد يتكون «البلاج» في خليج أو «جون» يحده رأسان أرضيان. فبينما تنحت الأمواج في أطراف الرأسين، فإنهـــا ترسب عنـــد هوامش الخليج الداخلية المجاورة للجرف الرئيسي (شكل ١٣٨). ومثاله في محيطنا المحلي بلاج خليج ستانلي الذي ينحصر بين رأسين تشرفان على البحر بجروف صخرية، و«خليج» مصطفى كامل فيما بين رأس ستانلي الغربية ورأس كليوباترة، وفيه بلاج أندية المعلمين والبوليس والجيش. وشبيه بهما «خليج» المنتزة فيما بين رأس فندق فلسطين ورأس الكوبري الذي يفصل



شكل (١٣٩ أ، ب) يوضح ضيق البلاج في السواحل المرتفعة (أ)
واتساعه في السواحل المنخفضة (ب).

بين المنتزه والمعمورة، ثم بلاج المعمورة ذاته فيما بين الرأس الأخير ورأس غريشة (بلاجات الإسكندرية). وتتآكل الرؤوس بالتدريج إذا تركت لفعل الأمواج دون أن يتدخل الانسان لحمايتها وتقويتها، بينما ينمو البلاج صوب البحر فيستقيم خط الساحل في النهاية.

ويضيق عرض البلاج في السواحل المرتفعة (شكل ١٣٩ ا) نظراً لعمق المياه بجوار هامش اليابس، بينما تتميز السواحل المنخفضة بإمكانية تكوين بلاج عريض فيما بين علامتي المد والجزر (شكل ١٣٩ ب) والبلاج المثالي هو الذي يتميز بقطاع هين التعقر، تظاهر الكثبان الرملية جانبه المواجه لليابس. يليها شريط من الحصى. ثم شريط من الرمال ينتهي (عند علامة

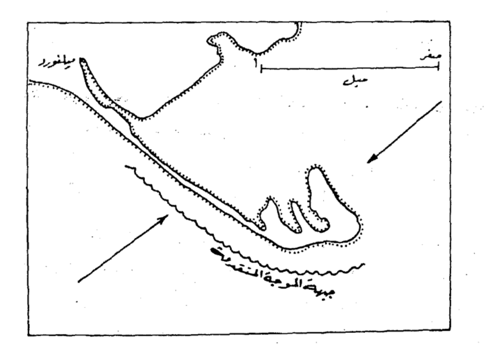
الجزر تقريباً) ببداية الرصيف التحاتي أو هامشه الذي تغطيه عادة نباتات بحرية (شكل ١٣٨ ب).

وقد تمتد على البلاجات، خصوصاً منها البلاج الحصوي، حافات حصوية مستطيلة Fulls موازية لخط الساحل يبلغ إرتفاعها ديسيمترات قليلة وكذلك العرض، تفصلها عن بعضها وهاد Lows or Swales طويلة ضحلة. ويبدو أنها قد تكونت بالعمل الإرسابي لأمواج بنّاءة تصل إلى الساحل.

٢- **الحواجز والألسنة الإرسابية**: تتنوع الظواهر الجيومورفولوجية للسواحل عن طريق تكوين ونمو الحواجز والألسنة الرملية أو الحصوية. وهي تنشأ عند النقطة التي يتغير عندها إتجاه خطوط السواحل تغيراً فجائياً، أو أمام المصبات النهرية الخليجية، أو عبر مداخل الخلجان، أو فيما بين هوامش اليابس والجزر المجاورة لها، أو قد تتكون بعيداً عن الشواطيء، وموازية لها. وتتمثل الشروط الرئيسية التي ينبغي توافرها لنشوئها ونموها في وجود تيارات دفع على إمتداد الشاطيء، بالإضافة إلى وجود ساحل مسنن غير منتظم يعمل البحر على تنظيمه وإستقامته عن طريق بناء تلك «الجسور» أو الخطوط الرسوبية.

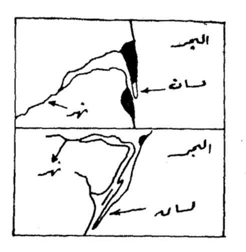
واللسان Spit عبارة عن «جسر» أو حافة رملية أو حصوية منخفضة السطح وضيقة نوعاً، تتصل باليابس عند طرف منها، وينتهي طرفها الآخر في المياه العميقة. فبعدما يبدأ اللسان في التكوين، وحالما يتكون جزء منه ويمتد في البحر، يبدأ تيار الدفع في نقل الرواسب على طوله، ومن ثم يؤدي إلى إزدياد نموه باستمرار تجاه البحر إلى أن يصل إلى مياه عميقة فيتوقف نموه، نظراً لظهور الأمواج الهدامة (أمواج النحت).

وهناك **نمطان رئيسيان من الألسنة: الأول** يبرز من الساحل صوب البحر صانعا مع إمتداد الساحل زاوية كبيرة (شكل ١٤٠) والثاني يمتد موازياً تقريباً لامتداد الساحل. ويشمل هذا النمط الألسنة التي تمتد عبر المصبات النهرية (شكل ١٤١)، والألسنة التي تمتد عبر الخلجان البحرية (شكل ١٤٢). ومن أمثلة النمط الأول لسان هرست كاسيل Hurst Castle في ساحل هامبشير Hampshire قبالة جزيرة وايت. وهو لسان حصوى طويل ينتهي طرفه في البحر منحنياً، وتتصل به ثلاث بروزات حصوية مقوسة (شكل ١٤٠).



شكل (١٤٠) لسان هرست كاسيل

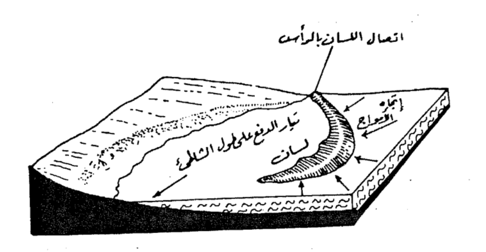
وقد نشأ نتيجة لتيار دفع يجري مع اتجاه الأمواج التي تحركها رياح جنوبية غربية سائدة. وتبعاً لذلك تراكمت الرواسب بانية لهذا اللسان الذي يواجه الأمواج. ويبدأ من رأس أرضي (رأس ميل فورد Milford)



شكل (١٤١) ألسنة عبر المصبات النهرية

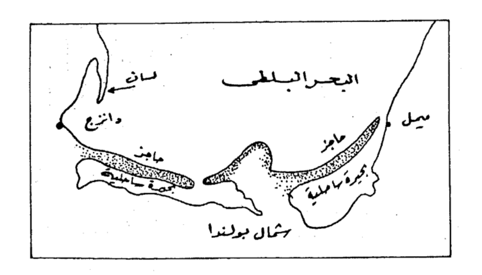
ويمتد صوب البحر. ومعروف أن اتجاه الألسنة يتعامد في العادة على اتجاه الأمواج السائدة، وهذا ما يتمثل بصورة واضحة في لسان هرست كاسيل، ويعزى انحناء طرفه البحري نحو الشمال الغربي الى فعل الأمواج التي تثيرها رياح شمالية تعززها مياه تيار نهر سولينت Solent.

وقد يتكون اللسان كما أسلفنا عبر مصب نهري، ويمتد موازياً لامتداد الساحل في اتجاه تيارات الدفع (شكل ١٤١) ومثاله لسان أورفورد Orford أمام مصب نهر Ald ونهر بتلي Butley، في ساحل سفولك Suffolk البريطاني على بحر الشمال. واللسان الممتد في اتجاه شمالي جنوبي (يعرف باسم Cap forret) أمام نهر لير Leyre في ساحل لاند Landes بغرب فرنسا على خليج بسكاي. ويشيع تكوين الألسنة أمام سواحل الدالات البحرية. وإذا نظرنا إلى دلتا النيل سنرى ألسنة رسوبية تكتنف ساحلها الشمالي. وتحدد معالم بحيراتها (المنزلة والبرلس وإدكو) من جهة البحر.



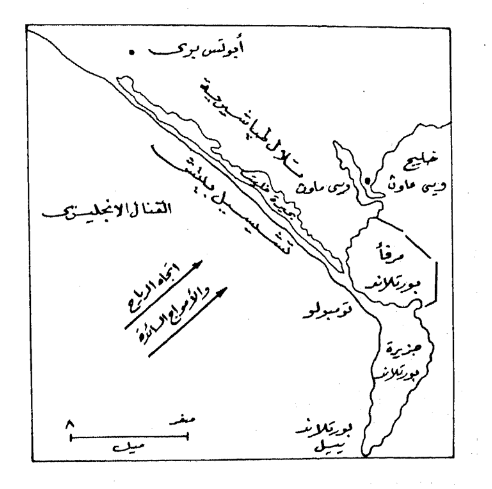
شكل (١٤٢) لسان عبر مدخل خليج.

وتنشأ الألسنة عبر مداخل الخلجان أيضاً (شكل ١٤٢) ومثلها اللسانان الشهيران اللذان يبرزان عند طرفي شبه جزيرة كيب كود (ولاية ماساتشوسيتس) أحدهما يتجه شمالاً عبر مدخل خليج كيب كود ثم ينحنى



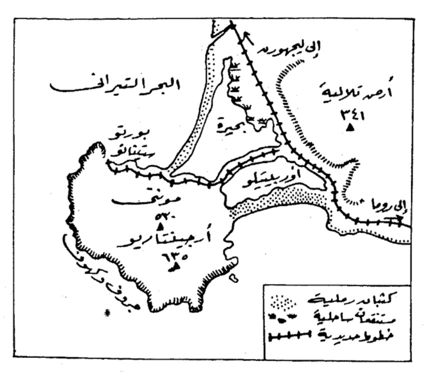
شكل (١٤٣) الحواجز الخليجية بساحل بولندا

طرفه جنوباً في هيئة خطاف بعرف باسم لونج بوينتLong Point ، أما اللسان الثاني فيتجه جنوباً عبر مدخل خليج بليزانتPleasant ، وينحني هو الآخر عند طرفه الجنوبي مكوناً لخطاف يعرف باسمMonomoy Point. ومثال آخر لألسنة مداخل الخلجان نجده في خليج دنجلDingle بجنوب غرب أيرلاندا حيث يمتد من طرفي الخليج لسانان رسوبيان. وتكثر الألسنة في سواحل الرياسRias حيث يتداخل البحر في اليابس في شكل خلجان طويلة متعرجة قمعية الشكل قد تنتهي إليها الأنهار.



شكل (١٤٤) تشيسيل بيتش.

والحواجز Bars لا تختلف كثيراً عن الألسنة، ويشيع منها وجود النمط الذي يمتد عبر مداخل الخلجان (حاجز خليجيbay bar). وهو يبدأ كلسان ينمو من أحد الرأسين اللذين يشكلان الخليج. لكنه يستمر في النمو والامتداد عبر الخليج الى الرأس الآخر المقابل، أو قد يتكون من إلتقاء لسانين ينموان من كلا الرأسين. وعادة ما تقطع استمرار اتصاله فتحة أو أكثر تشقها الأمواج وتيارات المد والجزر. وقد تتركب الحواجز من الحصى كما هو الحال في حاجز لو Loe في جنوب كورنول الذي يبلغ طوله زهاء ٥٠٠ م وعرضه نحو ١٨٠ م، أو تتكون من الرمل كحواجز سواحل البحر البلطي الجنوبية حيث يسمى الحاجز نيرونج Nehrung (شكل ١٤٣). وعادة ما تنتشر اللاجونات والمستنقعات بين الحاجز واليابس المجاور.



شكل (١٤٥) تومبولو على الساحل الغربي لايطاليا

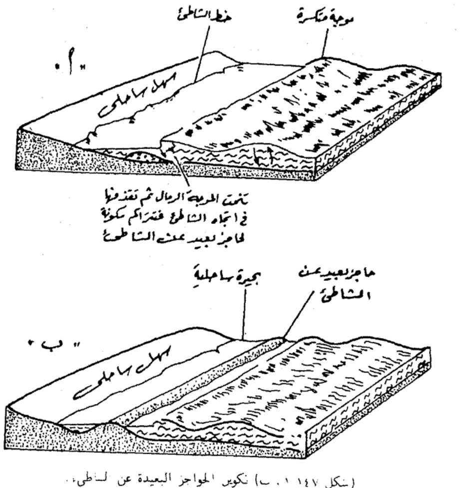
وهناك من الحواجز ما ينشأ عن امتداد السنة اليابس ووصولها الى الجزر المجاورة. ونتيجة لذلك ترتبط الجزر باليابس عن طريق حواجز تسمى تومبولو Tombolos. وتتمثل الظروف الجيومورفولوجية المثالية لتكوين التومبولو في وجود منطقة كثبان جليدية (دراملين) غارقة تكثر بها الجزر؛ وفي توفر معين من الرواسب تنقلها الأمواج وترسبها في شكل حافات تربط الكثبان بعضها ببعض، ومن أمثلة التومبولوات التي تصل جزئياً بين



شكل (١٤٦) جزء من ساحل أمريكا الشمالية على المحيط الأطلسي. يلاحظ أن الحواجز مقطوعة الصلة باليابس، ومن هنا جاءت تسميتها بالجزر الحاجزية Barrier islands وتحصر بينها وبين اليابس مياها ضحلة تعرف بالساوند Sound. لاحظ أن رأس هاتيراس تتكون من اتصال حاجزين، وأن الحواجز الجنوبية قد تقدمت وأصبحت قريبة من الساحل.

كثبان جليدية غارقة وبين اليابس المجاور ما يوجد منها في ساحل نوفاسكوشيا بالقرب من هاليفاكس (شرق كندا)، ومثال آخر يتمثل في حاجز تشيسيل بيتش Chesil Beach على ساحل دورسيت (جنوب انجلترا) الذي يبلغ طوله زهاء ٣٠ كم، ويربط اليابس بجزيرة بورتلاند. ويحصر لاجوناً طويلة تسمى فليت Fleet . ويبلغ إرتفاعه نحو ١٢ م فوق منسوب المد ، وعرضه حوالي. ١٠٠ م قرب الجزيرة (شكل ١٤٤).

ومثال ثالث تجده في ساحل غربي ايطاليا على البحر التيراني قبالة المنطقة فيما بين ليجهورن وروما. فقد ارتبطت جزيرة Monte



(شكل ١٤٧ ، أ ب) تكوين الحواجز البعيدة عن الشاطئ.

Argentario الصخرية باليابس الإيطالي عن طريق اثنين من حواجز التومبولو يحصران بينها بحيرة ساحلية يخترقها خط حديدي يصل الجزيرة بالساحل الإيطالي (شكل ١٤٥).

وهناك نوع من الحواجز ينشأ منفرداً مستقلاً بعيداً عن الشاطىء ولا يتكون الحاجز البعيد عن الشاطىء Off-Shore - Bar إلا إذا كان هذا الشاطى ينحدر انحداراً هيناً جداً فوق مسافة كبيرة تجاه البحر حيث يمكن للأمواج أن تتكسر بعيداً عنه، كما هي الحال في الجزء الجنوبي من ساحل أمريكا الشمالية على المحيط الأطلسي. فهنا نجد أمثال هذه الحواجز التي تتركب من رمال وحصى وتبرز فوق مستوى مياه المد وتقع على بعد كيلو مترات قليلة من الشاطى (شكل ١٤٦) والمرحلة الأولى في عملية تكوينه تبدأ بعمليات حفر تقوم بها الأمواج المتكسرة بعيداً عن الشاطى في قاع البحر (شكل ١٤٧ أ). وقد تجلب تيارات الدفع كميات من الرواسب تتراكم هي الأخرى على امتداد خط تكسر الأمواج (ومن هنا جاءت التسمية «حاجز نقطة أو خط التكسر break - point - bar») وفي المرحلة الثانية يتسع الحاجز وينمو صعداً الى أن يظهر فوق منسوب مياه البحر، ويحصر بينه وبين الشاطى بحيرة ساحلية (لاجونLagoon) (شكل ١٤٧ ب) وما تلبث البحيرة أن تعمرها النباتات المستنقعية، ويمتلى تدريجياً بخليط من الرواسب والمواد العضوية، ويتزحزح الحاجز في نفس الوقت نحو الشاطى، وذلك لأن الأمواج تنحت في جانبه المواجه للبحر، وتلقى بالمواد المنحوتة عبره عند هبوب العواصف وإشتداد الأمواج، الى جانبه المواجه للساحل. وقد تقدمت الحواجز في جنوب الساحل الأمريكي كثيراً صوب اليابس، وامتلأت البحيرات الساحلية المحصورة بينها وبين الساحل بالرواسب مكونة لبلاجات رملية فسيحة، ومنها بلاج بالمPalm وبلاج ميامىMiami في فلوريدا.

التعرية الهوائية

الرياح ظاهرة عالمية تنتشر في كل أرجاء الأرض، ولكنها لا تصبح عاملاً مشكلاً لسطح الأرض إلا حيث تسود القحولة والجفاف. فالغطاء النباتي يكسر حدة احتكاك الرياح ويحمي الأرض من تأثيرها. وتبعاً لذلك فإن المناطق الفقيرة في نباتها أو الخالية منه أي الصحاري وأشباه الصحاري هي التي تتعرض لفعل الرياح كعامل تعرية. ففيها تكثر المواد التي فتتها فعل التجوية، فيسهل على الرياح التقاطها وحملها أو دفعها واكتساحها. أما في المناطق الرطبة فإن الغطاء النباتي يحمى التربة. كما تعمل ذرات الماء على تماسك حبيباتها، فيقل تبعاً لذلك فعل الرياح كعامل تعرية.

الرياح كعامل نحت

حينما تكون الرياح نقية خالية من الرمال والغبار يصبح تأثيرها كعامل تعرية محدوداً للغاية أو معدوماً مهما بلغت قوتها. ومن ثم فلا بدّ لها من فتات صخري تنقله، ويكون لها بمثابة معاول هدم تؤثر بها في الصخور فتصقلها وتنحتها. وتتضح هذه الظاهرة في الجهات الصحراوية التي تخلو من الرمال. ففي صحراء مصر الشرقية تغطى السطح قشرة ملحية رقيقة متصلبة لا يتعدى سمكها مليمتراً واحداً، وهي من الرقة بحيث يستطيع إصبع اليد اختراقها بسهولة، وتوجد أسفلها مواد ترابية هشة من السهل تحريكها، لكن الرياح لا تقوى على حملها نظراً لوجود الغشاء الملحي الذي يغطيها ويحميها من تأثير الرياح ، ولعدم وجود رمال مكشوفة يمكن للرياح حملها واستخدامها في تمزيق هذه القشرة المتصلبة. ويتضح تأثير هذين العاملين عندما تهب العواصف الشديدة، إذ أن الجو يبقى خالياً من الغبار. ومن ثم

فلا بد للرياح من حمولة رملية تساعدها على القيام بوظيفتها كعامل نحت. وهذه الحمولة تجهزها لها عمليات التجوية، ويتوفر هذا العامل (وجود الرمال) في صحراء مصر الغربية. فهنا تستطيع الرياح بما تحمله من رمال أن تمزق القشرة الملحية المتصلبة وتنفذ إلى ما تحتها من رمال وغبار فتذريه، وسرعان ما يغبر الجو حتى ولو كانت الرياح ضعيفة. وتهب على الصخور فتصقلها وتخلع عليها أشكالاً حديدة.

وعلى الرغم من أن سرعة الرياح تفوق سرعة الأنهار بكثير إلا أن الهواء أقل كثافة من المياه ودونها في كتلها المتحركة، وبالتالي فإن قوة الرياح أضعف من قوة المياه الجارية. ولا تتحرك الرياح عموماً في مسار ضيق محدود كما هي حال مياه النهر، ولكنها تهب على مساحة كبيرة فتصقلها، وتلائم نفسها بالبيئة التي قد تتميز باختلاف في طبيعتها وتباين في ارتفاعها. وتتفوق الرياح على الجليد المتحرك والماء الجاري في قدرتها على مقاومة الجاذبية الأرضية. فهي تتحرك صعداً إلى قمم المرتفعات، وتهبط إلى أسافلها، وهي في مسارها لا تتقيد بانحدار معين. ولهذا لا يمكن للبيئة الطبيعية التي تشكلها الرياح أن تظهر في صورة الأودية، لكنها تتطور إلى مظهر البيئة الحوضية، وعندما تقابل الرياح عائقاً فإنها تحتجز أمامه، فتزداد عنفاً ، بينما تتوزع في ظهيره فتضعف قوتها. ومع هذا فإن قوة الرياح الهابطة تشتد فيما وراء العائق (ظل الرياح) إذا كان انحداره شديداً، ويزداد تأثيرها كلما اشتد الإنحدار.

ويصبح دوام تأثير الرياح دون تأثير المياه الجارية في الجهات التي تهب عليها الرياح بانتظام. فتأثير الرياح يتغير بالتباين في قوتها وفي اتجاهاتها وفي تكرر هبوبها، ويزداد فعلها عندما تهب على دفعات. والى جانب الرياح

السطحية السائدة هناك التيارات الهوائية الصاعدة أو الدوامات الهوائية التي تتميز بقدرة كبيرة على الحمل صعداً. ويشتد تأثير الرياح في الأجزاء السفلى من الكتل الصخرية البارزة، نظراً لأنها لا تقوى على رفع الفتات الصخري الى علو كبير. وتشاهد هذه الظاهرة في الصحاري المصرية، فنجد الأجزاء السفلى في اعمدة التلغراف وقد تآكلت وصقلت بفعل الرياح دون أجزائها العليا.

من هذا نرى أن فعل الرياح كعامل نحت يتوقف على سرعتها وقوتها وطبيعة هبوبها، وعلى مقدار ما تحمله من رمال، ثم على طبيعة الصخر الذي تؤثر فيه إن كان ليناً هشاً أو صلباً مندمجاً.

مظاهر النحت بواسطة الرياح:

١ - **بري الصخور وصقلها، وتكوين الحصى ذي الأوجه المصقولة أو الوجه** - ريحيات Windkanter (كلمة ألمانية تقابل Ventifacts بالانجليزية). وهي عبارة عن حصى أو قطع صخرية تمزقت من الصخر بتأثير التجوية، ثم تعرضت لانقضاض هبات الرمال فترة طويلة، فينشأ عن ذلك بري وصقل أحد جوانبها، وتعرف حينئذٍ بذات الوجه الواحد Einkanter الذي تتعامد حافته مع اتجاه الرياح. وحين يتغير وضع الحصوة لسبب أو لآخر كأن تدور أو تتقلب بفعل هبوب الريح يتعرض جانب ثان وثالث ... لهبوب الريح المحملة بالرمال فتتكون عدة أوجه تصقلها وتبريها الرياح، فينشأ عن ذلك أن يتحول الحصى الى أشكال مثلثة أو رباعية أو خماسية أو متوازية الأوجه والحواف. وقد ينشأ مثيل لتلك الأشكال حينما يتغير اتجاه الرياح بانتظام ويبقى الحصى ثابتاً.



شكل (١٤٨ أ، ب) تأثير التعرية الهوائية في الكتل الصخريه

٢- تكوين الحفر والثقوب والكهوف في الصحارى ومن امثلتها الثقوب التي تنتشر في الصخور الرملية بصحراء مصر الشرقية. والحفر الصحراوية التي لم يشترك في تكوينها عامل آخر غير النحت بواسطة الرياح مظهر خاص، إذ تبدو جوانبها مصقولة تماماً، كما يخلو قاعها من الرواسب أو يكاد.

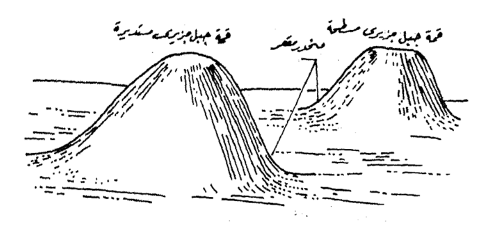
٣- الموائد الصحراوية:تنحر الرياح في الكتل الصخرية فتحولها إلى أشكال غريبة تبدو بهيئة قواعد التماثيل، وتدعي أحياناً بالموائد الصحراوية. وحين ننظر إلى الشكل (١٤٨) نجد كتلة صخرية تتركب من طبقات متعاقبة من الصخور اللينة والصخور الصلبة. وفي الشكل (١٤٨ ب

) نرى الكتلة بعد أن أثرت فيها الرياح، فنلاحظ أن الصخور اللينة قد تآكلت بسرعة، وأن الطبقة الصخرية اللينة السفلى القريبة من مستوى الأرض المحيطة هي أسرع الجميع تأثراً بالنحت؛ فالمائدة الصحراوية تنشأ من تآكل الطبقات اللينة لكتلة صخرية خصوصاً السفلى منها، بينا تبقى الطبقات الصلبة العليا بارزة في هيئة مائدة.

٤ - **الجبال الجزيرية والشواهد الصحراوية**: تستطيع الرياح أن تنحت الصخور اللينة التي يتألف منها سطح الصحاري فتخفضه، ولا يبقى منه بارزاً سوى الكتل الصخرية الصلبة مكونة لما يعرف بالجبال الجزيرية (إنزيل بيرجي Inselberge) والشواهد الصحراوية (تسويجين Zeugen). وتبدو الأولى كجزر جبلية بارزة في وسط محيط من الأرض المنخفضة. وهي شائعة الوجود في صحراء كلهاري بجنوب أفريقيا وفي أجزاء من صحراء الجزائر وليبيا وشمال غربي نيجيريا. ويلاحظ ان قمة الجبل الجزيري تكون مستديرة وأحياناً منبسطة، كما نجد جوانبه شديدة الانحدار، وعند أسافلها تتقوس في هيئة مقعرة (شكل ١٤٩).

أما الشواهد فتنشأ حينا ترتكز طبقة صلبة على أخرى لينة، وتنفذ التعرية الهوائية من خلال الفواصل التي تكتنف الطبقة السطحية الى الطبقة السفلى فتنحتها وتكتسح موادها. وفي النهاية تبقى كتل صلبة منفصلة مسطحة ترتكز على صخر لين أسفلها وتدعى تلك الكتل بالشواهد الصحراوية، وتبرز عادة فوق السطح العام بنحو ٣٠ م.

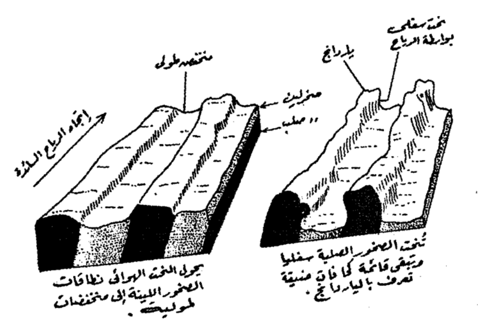
٥ - **تضاريس الياردانج**: عند هوامش الأراضي الفيضية الواسعة في الأحواض الصحراوية المغلقة تنتشر مساحات كبيرة من الطفل والطين الملحي تعرف باسم البلايات Playas في أمريكا اللاتينية، والسبخات في



شكل (١٤٩) جبال جزيرية

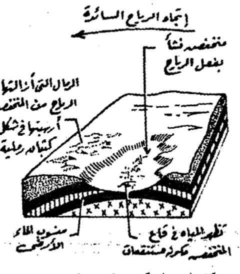
الصحراء الكبرى. وحين تجف تلك الرواسب وتتصلب في جهات تسودها رياح منتظمة الاتجاه، يتحول سطحها بفعل الرياح الى قنوات غائرة طويلة متوازية تقريباً، وذات جوانب شديدة الانحدار، Furrows ويبلغ عمقها أكثر من المتر وعرضها حوالى المتر أو أكثر. وفيما بين القنوات تبرز الأرض في شكل عروق أو ضلوع. وتبدو الأرض في مظهر مضرس يصعب اجتيازه. ويطلق على هذه التضاريس في إقليم بحيرة لوب- نور في شرق تاريم بتضاريس الياردانج Yardang (شكل ١٥٠).

٦- **المنخفضات الصحراوية**: تنشأ المنخفضات في المناطق الصحراوية التي تتكون من صخور هشة، فتستطيع الرياح أن تحفرها وتكتسح موادها. ومن هذه المنخفضات ما هو واسع وعميق يصل إلى مستوى الماء الأرضي، فتنبثق المياه في شكل عيون ومن ثم تنشأ الواحات، ومثلها منخفضات الواحات التي توجد بصحراء مصر الغربية، كالواحات الداخلة والخارجة وتعرف الآن بالوادي الجديد، والبحرية والفرافرة وسيوة (أنظر شكلي ١٥١ و ١٥٢).



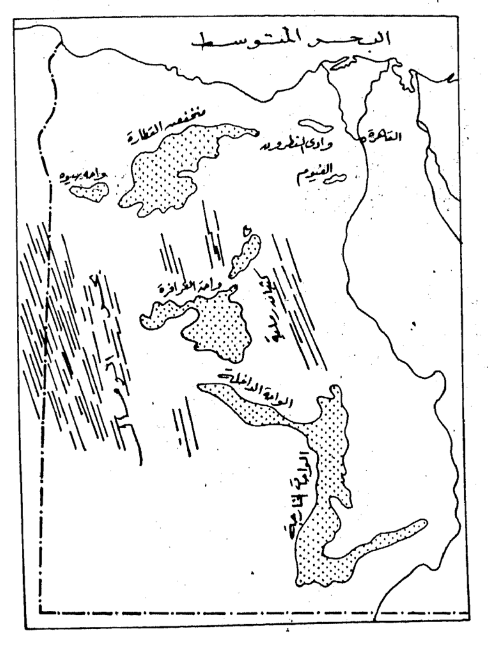
شكل (١٥٠) تضاريس الياردانج

وقد ترشح المياه إلى قاع المنخفض مكونة لمستنقعات كما في منخفض القطارة الذي يصل عمقه إلى أكثر من ١٢٠ م تحت منسوب البحر. وتتميز كثير من صحاري العالم بوجود أمثال هذه المنخفضات الواسعة العميقة ومنها



شكل (١٥١) تكوين المنخفضات الصحراوية.

صحراء ناميب Namib بجنوب غرب أفريقيا والصحراء الليبية والجزائرية، وصحراء منغوليا التي يصل عمق منخفضاتها إلى أكثر من ١٤٠ م.



شكل (١٥٢) منخفضات الواحات بصحراء مصر الغربية.

الرياح كعامل نقل

لا تستهلك الرياح قوتها في الهبوب فحسب، بل إنها تقوم بالنقل هبوطاً وصعداً. وذرات المواد التي تنقلها الرياح هي التي تصنع إغبرار الجو. والجو المغبر كالماء العكر من تأثير ذرات المواد الدقيقة العالقة به. وتتوقف مقدرة الرياح على النقل على سرعتها وقوتها. فالرياح القوية تستطيع أن تدفع الحصى وتدحرج الرمال أو تحملها لمسافة محدودة على سطح الأرض، لكنها تستطيع أن تحمل الذرات الدقيقة التي تعرف بالغبار عبر مسافات كبيرة قد تصل إلى عدة آلاف من الكيلومترات، فالرياح العاصفة التي تهب في الربيع وأوائل الصيف في الصحراء الكبرى، وتثيرها انخفاضات جوية تتحرك على امتداد هوامشها، تنقل كميات هائلة من الغبار الصحراوي يقدر بعشرات الملايين من الأطنان إلى جنوب أوربا ووسطها. وتعرف تلك الرياح في جنوب أوربا باسم السيروكو.

ولا تتميز الصحراء الكبرى وحدها بظاهرة العواصف الترابية، فهناك جهات كثيرة من أنحاء العالم تعرف زوابع الغبار وتعاني منها كشبه جزيرة العرب والعراق وإيران، وداخلية قارة آسيا حيث تنشأ الزوابع التي تهب على الصين، ثم شمال غرب الهند (صحراء ثار) وفي غرب استراليا. ولا يقتصر حدوث تلك الزوابع على المناطق الصحراوية، بل نصادفها أيضاً في الجهات شبه الصحراوية، وفي أراضي الاستبس كجنوب أفريقيا والسودان، وأراضي الاستبس الروسية. وفي براري أمريكا الشمالية حيث تتولد على الخصوص في أراضي الغرب الجافة.

وحينما تكون الرياح من القوة بحيث تستطيع دفع كل المواد والمفتتات الصخرية واكتساحها من سطح الصحراء وتترك صخورها عارية تماماً،



شكل (١٥٣ أ) صحراء حصوية صخرية بالجزائر.

لاحظ الجبال الجزيرية والموائد الصحراوية في مؤخرة الصورة.



شكل (١٥٣ ب) صحراء رملية.

لاحظ التموجات الرملية في مقدمة الصورة، والكثبان الرملية في مؤخرتها.

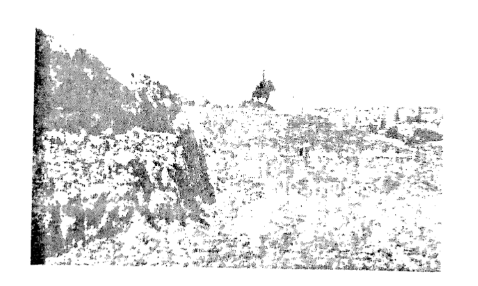
تدعى الصحراء حسئذ بالصحراء الصخرية أو الحجرية (شكل ١٥٣أ). ويطلق عليها اسم الحمادة في الصحراء الكبرى الافريقية. وحين تضعف الرياح عن دفع الحصى واكساحه يبقى فوق سطح الصحراء مكوناً لما يعرف بالصحراء الحصوية أو السرير (جمع سريرة ومعناها حصوة عند البدو في ليبيا). أما الصحراء الرملية التي تسمى **العرق** في الصحراء الكبرى فإنها تبدو في هيئة سهل عظيم من الرمال المموجة التي أرسبتها الرياح حين ضعفت قوتها (شكل ١٥٣ب).

الرياح كعامل إرساب

يحدث الإرساب الهوائي في أي مكان تضعف فيه مقدرة الرياح على النقل وتستطيع الرياح كما رأينا أن تحمل ذرات الغبار عبر مسافات كبيرة، وتلقيها في بقاع بعيدة غريبة عن موطنها الأصلي. أما الرمال فلا تقوى على حملها إلا الرياح القوية، وهي لا تستطيع رفعها كثيراً عن سطح الأرض ثم تعيد إرسابها بعد مسافة قصيرة. وتتمثل مظاهر الإرساب الهوائي في تراكم الغبار وتكوين **اللوس** ثم في تراكم الرمال وتكوين **والكثبان الرملية**.

١ - تراكم الغبار وتكوين اللوس Loess: يعتبر سفي الغبار وتساقطه من لزوميات الحياة اليومية في كل أنواع المناخ على الأقل في فترات الجفاف. والغبار الذي نعنيه لا ينشأ بالضرورة عن التعرية الهوائية فحسب، فهناك الغبار الكوني الذي ينشأ عن احتراق الشهب والنيازك وتساقط موادها على الأرض، وهناك الغبار البركاني الذي ينشأ عن ثوران البراكين، وهناك الغبار الناشىء عن عمليات التعرية الأخرى ثم الغبار العضوي والغبار الصناعي..... هذا الغبار تذريه الرياح ثم يتساقط على الأرض من الجو

ببطء شديد حين تضعف الريح، ولكنه يتعرض للحمل الهوائي مرة أخرى ما لم تسكن الريح تماماً، وهو يسرع في تساقطه حين تسقط الأمطار، ويبقى ثابتاً على الأرض حين يحميه غطاء نباتي من إعادة سفيه بواسطة الرياح. وتعتبر رواسب السيلت والطين والطفل والمارل والملح والجبس والجير هي المصادر الأساسية لتكوين الغبار من الوجهة البتروجرافية والمعدنية. وهذه الرواسب هي صحراوية أو نهرية أو بحيرية أو رواسب الركامات الجليدية. وأهم مظاهر تراكم الغبار هي لا شك تكوينات اللوس.



شكل (١٥٤) بيئة اللوس في شمال سويسرا

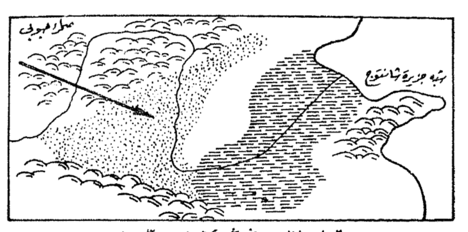
ويتركب اللوس من الوجهة البتروجرافية من تكوينات دقيقة الحبيبات بنيّة اللون فاتحة أو مصفرّة، وأحياناً رمادية، ومن السهل تفتيتها وسحقها بين الأصابع، وملمسها ناعم، كما أنها تحتوي على نسبة من كربونات الكالسيوم. والرواسب غير طباقية في الغالب، وتكتنفها وتختلط بها الكثير من الأنابيب

أو الشعيرات الكلسية الدقيقة في وضع رأسي. وتميل الرواسب إلى تكوين حوائط رأسية، وتبقى في ذلك الوضع فترة طويلة دون أن تنهار.

وفي معظم تكوينات اللوس يسود توزيع معين للحبيبات المكونة له، ويتضح منه أن الحبيبات التي يتراوح قطرها بين ٠,٠٥- ٠,٠١ ملم هي السائدة، كما أن نسبة المسام في التكوينات عالية.

ويتألف اللوس معدنياً من الكوارتز (بنسبة ٦٠٪- ٧٠٪)، ومن كربونات الكالسيوم (١٠٪- ٣٠٪)، ومن الفلسبار بأنواعه (١٠- ٢٠٪) والميكا، ومن معادن ثقيلة كالجرانات وإبيدوت Epidot وهورنبلند. فمعدن الكوارتز إذن هو المعدن الغالب في تكوينه. وتوجد كربونات الكالسيوم في اللوس عادة على هيئة غلاف رقيق يحيط بحبيبات الكوارتز وغيرها من المعادن المكونة له. ونسبة الكربونات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالمصدر الذي اشتق منه اللوس، فكلما كان المصدر غنياً بالجير زادت نسبة الجير في الرواسب. وكربونات الكالسيوم التي توجد عادة موزعة توزيعاً منتظماً في اللوس كثيراً ما تتغير بمرور الزمن وبتأثير ظروف معينة. فهي قد تتحول إلى أشكال متحجرة تعرف بأطفال اللوس في تكوينات أوروبا، وأحياناً تترسب في صحائف أفقية تعرف باسم توسكا Tosca في لوس البامباس Pampas في أمريكا الجنوبية، أو قد تؤثر فيها عوامل التحلل الكيميائي فتذيبها المياه وتسلبها من التكوينات، وحينئذ يتحول اللوس المثالي إلى طفل (لوم) الذي يتميز بلونه الداكن وحبيباته الأدق.

وتنتشر تكوينات اللوس انتشاراً كبيراً في أنحاء اليابس. وتقع أكبر مناطق توزيعه في وسط آسيا وشرقها حيث يبلغ سمكه هناك أكثر من ٥٠٠ م، وهو سمك ليس له نظير في مناطق توزيعه الأخرى، وهناك ما



شكل (١٥٥) توزيع اللوس في شمال الصين.

يزال تراكم اللوس مستمراً. أما في مناطق توزيعه الأخرى بأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية وأوروبا. فإن إرسابه قد ارتبط بالفترات الجليدية إبان عصر البلايوستوسين. فتكوينات اللوس في تلك المناطق ظاهرة تختص بها الأراضي التي كانت تتاخم الجليد والتي تأثرت بوجوده تأثيراً غير مباشر. ولهذا من الممكن أن نميز نمطين من اللوس: أحدهما قاري والآخر جليدي (بالمعنى المناخي). وفي غرب ووسط أوروبا يمتد شريط من تكوينات اللوس من ساحل بريتاني عبر حوض باريس وجنوب بلجيكا إلى وسط وجنوب ألمانيا ثم إلى سيليزيا وبوهيميا، وعبر جنوب المجر ورومانيا إلى جنوب روسيا. ويبلغ سمك اللوس أقصاه في وادي الراين حيث يصل إلى ٣٠ م. وفي أمريكا الشمالية تبلغ تكوينات اللوس أقصى سمكها في ولايات النوي وأيوا ونبراسكا وكانساس وميسوري.

وحينما ننظر إلى اللوس كظاهرة عالمية سنجد أنه في معظمه عبارة عن نتاج تأثير التعرية وتذرية الرياح في الصحاري سواء كانت حارة أو باردة، صلصالية أو رملية. صغيرة المساحة أو كبيرتها، وسواء كانت قاحلة خالية من النبات، أو كانت تحوي نباتات فقيرة لا تستطيع حماية الأرض من تأثير الرياح. ويتم إرساب نتاج التعرية من المواد الدقيقة خارج منطقة النشأة، ولهذا نجد اللوس يتكون من مواد غريبة بعيدة الموطن، تراكمت بفعل الرياح السائدة في منطقة توافرت فيها ظروف تساعد على إرسابه، تتلخص في مناخ رطب ووجود حشائش تلتقط ذراته وتحميها من إعادة التذرية. ويعتبر تراكم اللوس في الأراضي المحيطة بالجليد أثناء عصر البلايوستوسين ظاهرة استثنائية في تكوينه. فقد كانت هناك مساحات واسعة خالية من النبات تمكنت الرياح من تذرية موادها الدقيقة ثم أرسبتها حيث توافر غطاء نباتي حشائشي عمل على حمايتها من إعادة سفي الرياح.

ورواسب اللوس عظيمة الخصوبة. فالزراعة قائمة في منطقة اللوس بشمال الصين منذ ٤٠٠٠ سنة. وتجود زراعة القمح في سهول أوكرانيا بالروسيا وفي سهول البراري بأمريكا الشمالية والبمباس بأمريكا الجنوبية، وكلها تتركب أساساً من تكوينات اللوس. وتستخدم الرواسب في أعمال البناء. ويحفر الصينيون مساكنهم في تكوينات اللوس التي يبلغ سمكها هناك بين ١٠٠ - ٥٠٠ م. ومن مزايا هذه المساكن أنها سهلة البناء، وهي دفيئة في الشتاء وباردة نسبياً في الصيف، فهي مكيفة الهواء بالطبيعة، ولكنها سهلة الانهيار حين يصيب المنطقة زلزال حتى ولو كان ضعيفاً.

٢- تراكم الرمال وتكوين الكثبان الرملية Sand-dunes: يحدث التراكم الرملي وتكوين الكثبان الرملية حينما تتسع مجالات هبوب التيارات الهوائية أو حينما تصطدم الرياح بعقبات في طريقها. فحين تخرج الرياح من

مجال هبوب معين يشبه القناة، كما يحدث عندما تخرج من الأودية الجبلية إلى سهل فسيح، فيتسع مجال هبوبها إتساعاً كبيراً فتضعف بالتالي سرعتها، وتلقي حمولتها في شكل غطاءات رملية فسيحة قد تكون مستوية أو مموجة بعض التموج، وتعرف عادة بمسطحات الرمال الهوائية المستوية.

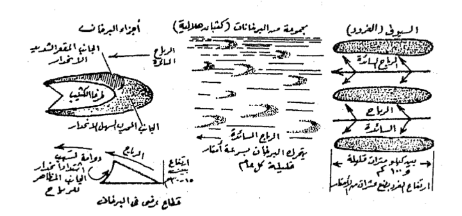
أما النمط الثاني من أشكال التراكم الهوائي فيتمثل في الكثبان الرملية. وهي على أنواع بحسب نشأتها أو بنائها وبحسب شكلها. فمنها الكثبان التي يرتبط تكوينها بعقبة ظاهرة، ويطلق عليها الألسنة الرملية والربوات الرملية النباتية. والأولى عبارة عن تلال رملية هينة الانحدار تتراكم أمام العقبة أو خلفها، أما الرّبوات الرملية فهي أكوام من الرمال تمكنت النباتات من النمو خلالها. وتبدأ الكثبان الحرة التي لا يرتبط تكوينها بعقبة ظاهرة بأشكال صغيرة تعرف بالتموجات الرملية (أنظر شكل ١٥٣ ب، ص ٤٠٥). وهي حافات صغيرة قليلة الارتفاع تفصلها عن بعضها خطوط غائرة قد تمتد متوازية أو قد تتوزع وتتشابك. ويصبح المظهر المورفولوجي للمنطقة أشبه بورقة شجر أو ريشة طير. وهي توجد أيضاً كحفريات فوق الصخور الرملية التابعة للزمنين الأول والثاني. ومثل هذه التموجات الرملية أشكال عابرة، إذ أنها تتحرك مع الرياح أو تغير موضعها بسرعة وقد تتلاش نهائياً.

وللكثبان الرملية الكبيرة الحجم ثلاثة أشكال رئيسية هي:

(١) الكثبان العرضية: وهي التي تمتد في وضع متعامد مع اتجاه الرياح. وينتشر وجودها في حوض تاريم وفي صحراء التركستان وفي داخلية صحراء ثار بشمالي غربي الهند. وينحدر الكثيب العرضي انحداراً هيناً في جانبه المواجه للرياح بزاوية تتراوح بين ٥°- ١٢°. وتبدو أسافل المنحدر في هذا

الجانب مقعرة بعض الشيء. أما الجانب المظاهر للرياح فإنه ينحدر في البداية انحداراً شديداً، ثم يتلو ذلك انحدار هين نوعاً بزاوية تتراوح بين ٣٠° - ٣٣°. وتستمر الرياح في حمل الرمال من الجانب المواجه لها وإرسابها في الجانب المظاهر لها ما دام الكثيب في دور التكوين. وبذلك تتراكم رمال الكثيب في شكل طبقات، وحينما تكتسح الرياح قسماً من الكثيب الأصلي تبدو طبقات الرمال متقاطعة، وتظهر هوامشها وقد غطتها طبقات رملية أحدث بزوايا مختلفة.

(ب) الكثبان الهلالية: وتعرف باسم تركستاني الأصل هو برخان Barchan، وينتشر وجودها في صحاري آسيا وأفريقيا. وهي في أصلها كثبان عرضية تلتوي أطرافها بفعل الرياح التي تهب في اتجاه واحد سائد. فحبات الرمال التي تتحرك فوق جسم الكثيب العرضي ينبغي لها أن تقطع مسافة أطول حين تعبر أجزاءه الوسطى، بعكس الحبيبات التي تتحرك عند طرفيه النحيفين فهي تعبر مسافة أقصر. وتبعاً لذلك يتحرك طرفا الكثيب بسرعة أكبر من سرعة تحرك أجزائه الوسطى، فيبدو الكثيب حينئذ في



شكل (١٥٦) الغرود (الكثبان الطولية)
والبرخانات (الكثبان الهلالية)

شكل قوس أو هلال يتجه جانبه المحدب إلى الجهة التي تأتي منها الرياح، بينما يتجه طرفاه إلى الجهة التي تسير نحوها الرياح.

وحين ننظر إلى الشكل (١٥٦) نجد جانب البرخان المواجه للرياح محدباً طويلاً هين الانحدار (٦°- ١٧°)، وجانبه الآخر مقعراً قصيراً شديد الانحدار (بين ٣٠°- ٤٠°). ويرجع ذلك إلى أن الرياح حينما تجتاز قمة الكثيب تصادف انخفاضاً فجائياً في الجانب الآخر، فتحدث لها حركة عكسية أشبه بالدوامة Eddy التي تعمل على رفع جزء من الرمال، وفي نفس الوقت على تثبيت بعض حبات الرمال فوق قمة الكثيب فتحول دون هبوطها. ولذلك يظهر هذا الجانب في شكل مقعر شديد الانحدار. ويبلغ ارتفاع الكثبان الهلالية في صحراء كراكوم بين ٥- ٧ م ونادراً ما يصل إلى ١٢ م.

وتوجد البرخانات عادة في مجموعات تحتل مساحة كبيرة من وجه الصحراء. وهي تتحرك حركة بطيئة في اتجاه سير الرياح يبلغ مداها بين بضعة ديسيمترات وبضعة أمتار كل عام. وكثيراً ما ينقلب شكل البرخان، وهي ظاهرة شائعة في صحراء كراكوم، حينما يتغير اتجاه الرياح فيصبح في اتجاه مضاد لاتجاهها الأول، إذ تستجيب لهذا الاتجاه الجديد كل أجزاء الكثيب الهلالي بما في ذلك جانبه المحدب الهين الانحدار، وجانبه المقعر الشديد الانحدار. ويحدث التحول إلى البرخان المزدوج حينما يتجاور كثيبان هلاليان، فيلتحم جانباهما ثم يتحدان وينموان في كثيب واحد، أو حينما يتحرك أحدهما ويصعد فوق الآخر. وتلاحق البرخانات السريعة الحركة زميلاتها البطيئة وتختلط بها أو تلتحم معها مكونة لسلاسل من الكثبان الرملية تعرف أحياناً بصفوف الرمال.

(جـ) **الكثبان الطولية أو السيوف الرملية**: تؤدي الرياح الشديدة إلى نحافة جسم البرخان وإلى إطالة جانبيه ثم إلى تقطيعه، فينتج عن ذلك تكوين الكثبان الطولية Longitudinal. وهي تنشأ أيضاً نتيجة لدفع الرمال في اتجاه عام مواز لاتجاهها السائد (انظر شكل ١٥٦) وينتشر وجودها في صحراء غرب استراليا وصحراء ثار والصحراء الكبرى الأفريقية. وهي تعرف في صحراء مصر الغربية باسم **الغرود**، ويتألف كل غرد منها من سلسلة من التلال الرملية يبلغ طولها عشرات الكيلو مترات. وأشهرها غرد أبي المحاريق الذي يمتد مسافة يبلغ طولها نحو ٣٥٠ كم إلى الجنوب من منخفض القطارة حتى مشارف الواحة الخارجة. وقد اشتقت رماله من تكوينات المنخفض الذي حفرته الرياح الشمالية الغربية السائدة. وفي صحراء العرق Erg بليبيا تمتد السيوف الرملية من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي وهو اتجاه الرياح السائدة هناك.

حركة الكثبان الرملية: تتحرك الكثبان الرملية فوق الأراضي المنبسطة حركة دائبة حينما ينعدم وجود عوامل تثبيتها. فالرياح الدائمة الهبوب تكتسح الرمال من الجانب المواجه لها من الكثيب وتلقى بها في الجانب المظاهر لها منه، وبذلك يتحرك الكثيب حثيثاً، ولا تقف حركته إلا حين تعترضه الحشائش والنباتات، وتنمو فيه بدرجة تكفي لإيقاف الرمال عن الحركة وتثبيتها. وتتوقف سرعة حركة الكثيب على حجمه وحجم حبيبات الرمال المكونة له، ثم على قوة الرياح ودوام هبوبها. فالكثبان الرملية في السواحل الكورية تتحرك بمعدّل ٦ م كل عام. وفي الصحراء الليبية تتحرك الكثبان بسرعة تتراوح بين ٤ م- ٢٠ م في السنة. ويؤثر التغير الفصلي لهبوب الرياح واتجاهاتها في تحركات الكثبان فيتوقف استمرار تحرك الرمال في اتجاه واحد. مثال ذلك ما يحدث في صحراء

كراكوم إذ تهاجر الكثبان الرملية في اتجاه الجنوب بسرعة ١٨ م في فصل الصيف، وفي الشتاء تتحرك شمالاً بسرعة تصل إلى ١٢ م. وطبيعي أن تتحرك الكثبان الصغيرة بسرعة أكبر من سرعة تحرك الكثبان الكبيرة.

ويسبب تحرك الكثبان الرملية مشكلات خطيرة لسكان الواحات ومنها الواحات المصرية. فهي تطغى على الطرق والأراضي الزراعية والقرى. ولهذا تبذل الجهود لتثبيتها وإيقاف حركتها عن طريق زراعتها أو إنشاء مصدات رياح أمامها.

التعرية الجليدية

حينما تهبط حرارة الجو إلى ما دون الصفر المئوي يتكاثف بعض بخار الماء الموجود به ويتجمد فيتحول إلى بلورات ثلجية تتساقط على سطح الأرض في شكل زغب الريش، وهذا ما يعرف بالثلج Snow. وتتساقط الثلوج في الشتاء فوق مناطق كثيرة تقع في العروض العليا، لكن الثلوج ما تلبث أن تنصهر في معظمها أثناء الصيف التالي. وحينما تبقى بعض الثلوج دون إذابة بسبب استمرار انخفاض درجة الحرارة دون نقطة التجمد، فإنها تكون غطاء ثلجياً مستديماً. ويحدث هذا في جزيرة جرينلندا وقارة أنتاركتيكا، وفوق قمم بعض الجبال العالية. ويعرف المستوى الذي عنده يبدأ الثلج في الذوبان بخط الثلج الدائم Snow-Line. وهو عند منسوب سطح البحر حول القطبين، لكنه يرتفع في جبال شرقي أفريقيا الواقعة عند خط الاستواء حيث تشتد الحرارة إلى نحو ٦٠٠٠ م.

وحينما يزداد تراكم الثلج في منطقة ما من سنة لأخرى فإنه يتحول بالتدريج إلى جليد Ice صلب بسبب تضاغطه وثقله. وفي بداية عصر البلايوستوسين، أي منذ حوالى مليون سنة، أخذت مناخات أقاليم العروض العليا في البرودة المستمرة. وتبعاً لذلك فإن الثلوج التي كانت تتساقط في الشتاء لم تكن كلها تنصهر في الصيف، فتراكمت وازداد سمكها واتساعها في المناطق القطبية وفي شمال أمريكا الشمالية وفي القسم الشمالي من أوربا. وقد تحولت ثلوج هذه الحقول الفسيحة بالتدريج إلى جليد متماسك مندمج امتد فوق معظم الأراضي المنخفضة والجبال، ودام فترة طويلة تعرف بالعصر الجليدي Ice Age.

وتدعى كتل الجليد التي تغطي مساحات عظيمة من سطح قارة باسم

الغطاءات الجليدية Ice-Sheets ، كما تعرف تلك الكتل التي تشغل أودية جبلية باسم الأودية الجليدية Valley glaciers أو الثلاجات الجبلية. وتوجد الغطاءات الجليدية في وقتنا الحالي في أنتاركتيكا وجرينلندا. أما الأنهار الجليدية أو الثلاجات فتوجد في جبال الهيمالايا والألب والروكي والأنديز.

ويغير فعل الجليد من مظهر المناطق التي يغطيها ويتحرك فوقها تغييراً كبيراً، فتتعرض المناطق الجبلية لنحته والسهول لإرسابه. وفي كثير من أجزاء القارات الشمالية التي تخلو حالياً من الجليد، نشاهد الكثير من ظاهرات النحت والإرساب التي أنشأها جليد عصر البلايوستوسين، وحين انصهر الجليد في نهاية العصر الجليدي تحررت كميات هائلة من المياه، تجمع بعضها في تجاويف وحفر، أو احتبس وراء الرواسب الجليدية (تسمى ركامات Moraines) مكوناً لبحيرات. وقد تكونت بهذه الطريقة مجموعة البحيرات العظمى في أمريكا الشمالية، وكذلك بحيرات فنلندا التي تعد بالآلاف. ومع هذا فإن معظم المياه المنصهرة قد انسابت مكونة لأنهار مائية تنصرف إلى البحار. وقد حملت تلك الأنهار كميات عظيمة من الرواسب الجليدية (أو الركامية) وأرسبتها بعد ذلك فوق أراضي تقع بعيداً عن المناطق التي غطاها الجليد. وهناك أنشأت سهولاً رسوبية فسيحة تعرف بسهول الرواسب الجليدية، Outwash Plains ، وهي عادة تتركب من الرمال:

أشكال الكتل الجليدية

هناك العديد من أشكال الكتل الجليدية التي يمكن ضمها في ثلاث مجموعات رئيسية هي:

١ - الغطاءات الجليدية والقلنسوات الجليدية.

٢ - الأودية الجليدية (تعرف أيضاً بالثلاجات الجبلية أو الثلاجات الألبية).

٣ - ثلاجات حضيض المرتفعات.

١ - الغطاءات الجليدية والقلنسوات الجليدية:

افترشت الغطاءات الجليدية Ice-Sheets مساحات عظيمة من أسطح القارات إبان عصر البلايوستوسين. ويمثل الغطاءات الجليدية الضخمة على مستوى الكتل القارية في وقتنا الحاضر غطاءان فقط هما: غطاء القارة القطبية الجنوبية، وغطاء جزيرة جرينلندا.

غطاء أنتاركتيكا: هو غطاء جليدي عظيم يفترش مساحة تقدر بنحو ١٢ مليون كيلومتر مربع. وتظهر بالقرب من سواحل القارة سلاسل جبلية تبرز قممها العليا فوق مستوى الجليد (تسمى Nunataks). وفيا بينها تتحرك ثلاجات منفصلة وتأخذ طريقها إلى البحر مكونة لما يعرف بالجليد المعلق (جليد الرفرف Shelf-ice). ويمتد الغطاء الجليدي نفسه في بعض الأماكن فوق البحر خصوصاً فيا بين خطي طول ١٦٠° شرقاً و١٥٠° غرباً، وحيث تمتد الكتلة الطافية، المعروفة بحاجز روس Ross-Barrier والتي تبلغ مساحتها أكثر من ٥٠٠,٠٠٠ كم²، صوب البحر حيث تنتهي في هيئة جروف جليدية، وتتحطم منها جبال ثلجية ضخمة على فترات. وقد أمكن حساب سمك الغطاء الجليدي ومعرفة طبيعة الصخر أسفله عن طريق استخدام وسائل خاصة منها صدى الصوت. وقد وجد أن السمك في المناطق الساحلية يتراوح بين ٢٥٠- ٨٠٠م، ولكنه يزداد بالاتجاه نحو

الداخل. ووجد أن أعظم تسجيل للسمك حتى الآن قد وصل إلى ٢٧٥٠ م. وتبين من الدراسات أن سطح الأرض أسفل الجليد شديد التضرس، وتكتنفه أودية عميقة وحافات شديدة الانحدار تبرز قممها عند هامش الغطاء الجليدي فوق سطحه.

غطاء جرينلندا: يبدو هذا الغطاء أشبه بقبة جليدية فسيحة منبسطة ويفترش نحو ١,٨٢٠,٠٠٠ كم٢ من مساحة الجزيرة. ولا تظهر الأرض أسفل الغطاء الجليدي إلا عند السواحل، بالإضافة إلى بعض القمم المفردة التي تبدو بارزة فوق سطحه عند حوافه Nunataks. ويحيط بجزء من الساحل هامش صخري جبلي تقطعه الفيوردات. ويصل الغطاء إلى البحر على امتداد أجزاء من الساحل إما في شكل جروف جليدية قائمة (تعرف بالحائط الصيني) أو في هيئة واجهة هينة الانحدار نوعاً. ومركز الغطاء الجليدي عبارة عن قبة ضخمة من الجليد تغطي سطحها ثلوج هشة. ويبلغ ارتفاع القبة أكبر من ٣٠٠٠ م فوق منسوب البحر. وأعلى نقطة في الجزيرة هي قمة جبل فوريل Forel في جنوبها الشرقي (ارتفاعه ٣٣٦٢ م). وكان يعتقد أن سمك الجليد يبلغ نحو ٢٤٤٠ م، لكن الأبحاث الحديثة التي استخدمت صدى الصوت، تشير إلى أن الصخر الصلد أسفل الجليد يقع دون منسوب البحر في بعض الجهات.

وتتحرك الثلاجات فيما بين الحافات الصخرية لتصل إلى البحر. وأعظم الثلاجات في جرينلندا، بل وفي نصف الكرة الشمالي، هي ثلاجة ستورستروم Stor-Stroum في الشمالي الشرقي، ويبلغ طولها نحو ١٣٠ كم. وتقل عنها في الضخامة (في الاتساع والسمك) ثلاجة بيترمان Petermann في الشرق، لكنها تزيد عليها في الطول الذي يصل إلى ٢٠٠ كم. ويطفو جزء من هذه الثلاجة الأخيرة طوله زهاء ٤٠ كم فوق ماء البحر. وتنتهي ثلاجة

همبولت Humbolt في الشمال الغربي بخط من الجروف يبلغ عرضه زهاء ٦٥ كم وارتفاعه أكثر من ٩٠٠ م. وتتحطم منه جبال جليدية تطفو في اتجاه الجنوب في المحيط الأطلسي.

القلنسوات الجليدية:

القلنسوات الجليدية Ice-caps هي غطاءات صغيرة من الجليد، وهي تبدو في شكلين: قلنسوات جليدية جزرية Island ice-caps. وقلنسوات جليدية هضبية Plateau. ومن أمثلة النمط الأول قلنسوة فرانس جوزيف لاند ونوفايازيمليا وسبتس بيرجين، وتغطي القلنسوات الجليدية الهضبية نحو ١/٨ مساحة أيسلندا وتعرف كل منها باسم يوكول Joekull. وقد أمكن تمييز نحو ٣٧ ثلاجة منفردة، وأضخمها ثلاجة فاتنا Vatna التي تغطي نحو ٨٨٠٠ كم٢. ويبدو أن سطحها المموج بعكس طبيعة تضرس الأرض من أسفلها. وتتحرك الثلاجات من الهوامش في شكل أودية جليدية أو ألسنة جليدية عريضة.

وفي المناطق الهضبية الجليدية العليا بالنرويج التي تعرف باسم Fiells نجد الكثير من أمثلة القلنسوات الجليدية الهضبية أكبرها Jostedalsbre التي تغطي مساحة تقدر بنحو ١٥٦٠ كم٢. وهي في الواقع تحمل سمات تجعلها في مركز متوسط بين القلنسوات الجليدية ونمط الأودية الجليدية التي تتدفق من حقول الجليد.

٢ - الأودية الجليدية أو الثلاجات الألبية:

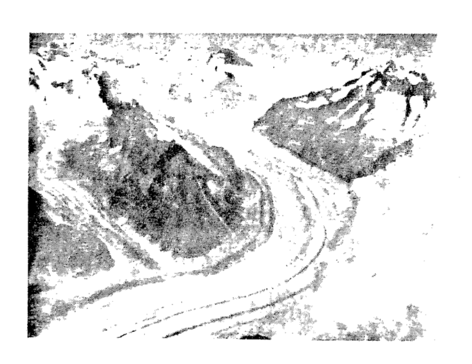
الأودية الجليدية أو ثلاجات الأودية Valley-glaciers ميزة تختص بها

سلاسل المرتفعات العظيمة في العالم. وهي عبارة عن ألسنة من الجليد تتحرك نزلاً في أودية سابقة (موجودة أصلاً) على منحدرات الجبال من أحواض تراكم الجليد Firn-Basins والثلاجات على أنواع: منها ما يبدو في هيئة ألسنة تعرف بالثلاجات الحلبية Cirque-glaciers، وهي مجرد امتدادات جليدية من أحواض تجمع الجليد. ومنها ما يخرج من أحواض عالية. ويمتد شامخاً على جوانب الجبال وتعرف بالثلاجات المعلقة Hanging. التي تتحطم منها كتل جليدية وتنهار إلى الأودية وتعرف بالهيارات الجليدية Avalanches. وحينما تنتهي الثلاجة إلى البحر كما هي الحال في ألاسكا وجرينلندا وتتقطع منها طافيات وجبال جليدية فإنها تعرف بالثلاجات المدية Tidal glaciers. وثلاجة الوادي أو الثلاجة العادية هي أكثر أشكال الكتل الجليدية شيوعاً في وقتنا الحاضر، وهي المسئولة. باستثناء ما فعلته غطاءات جليد الزمن الرابع، عن تشكيل البيئة الطبيعية لكثير من المناطق الجبلية في العالم.

. وتتوقف الذبذبة في أحجام الثلاجات وأطوالها على مدى اتساع حقول الجليد وعلى كمية التساقط وعلى درجة الحرارة السائدة على امتداد مجاريها. وتمتد نهاياتها إلى الحد الذي عنده يتعادل الانصهار Ablation مع مورد الجليد الذي تجلبه الثلاجات المتحركة من حقول الجليد. وقد انكمشت كثير من الثلاجات الألبية انكماشاً ملحوظاً أثناء القرن الأخير نتيجة لارتفاع الحرارة عن ذي قبل. ويجري قياس الثلاجات في الألب السويسرية من عام لآخر، وقد تبين أن مقدار الانكماش العام يتوقف على مقدار التساقط في السنة السابقة. ووجد أن معدله في عام ١٩٧٧ - ١٩٧٨ قد بلغ بالنسبة لكل الثلاجات نحو ١٥ م. وفي العام التالي ١٤ م. وفي عام ١٩٧٨ - ١٩٧٩ وجد أن ثلاثاً منها بقيت بحالها دون انكماش، و٧٦ انكمشت، و١٠ نمت

وتقدمت. ولوحظ أن ثلاجة Unter-Grindelwald كانت أكثرها انكماشاً، إذ تراجعت بمقدار ٦٦ م تقريباً. وهناك ثلاجة وحيدة تتقدم باستمرار كل عام وهي ثلاجة ترينت Trient في إقليم فاليس (Valais) Vallis . فقد امتدت زهاء ١٣م عام ١٩٧٧ و ٢٨م في عام ١٩٧٦

وتقع ثلاجة ألتش Aletsch أطول ثلاجات أوربا في الألب البيرنية Berner-Oberland . ويبلغ طولها حالياً نحو ١٦ كم. وتتعرض هي الأخرى للانكماش (بلغ الانكماش فيما بين عامي ١٩٧٠ - ١٩٧٢ نحو ٥٥ م) وهي تنبع من مجموعة الحقول الثلجية التي تحيط بها قمم جبلية مثل يونج فراو Jungfrau ومونخ Moench . هذه الحقول ما هي إلا جزء من حقل الجليد Firm-field العظيم المسمى حقل كونكورديا Konkordia Platz الذي يشمخ إلى ارتفاع نحو ٢٨٠٠ م. ومن هذا الحقل يمتد لسان ثلاجة



شكل (٥١) [illegible] ثلاجة ألتش Aletsch . سويسرا

أليتش ويشق طريقه جنوباً فيما بين الحافات الصخرية. وهذه الثلاجة هي في الواقع أمثل نموذج لثلاجات الأودية. وعلى الرغم من أنها أطول ثلاجة في أوربا إلى أنها تعتبر صغيرة بالنسبة لثلاجات الهيمالايا حيث يزيد طول بعضها على ١٦٠ كم. وفي ألاسكا ونيوزيلندا نجد بعضاً من أضخم الثلاجات رغم قصرها، ومرجع ذلك إلى غزارة التساقط الثلجي بسبب ارتفاع السلاسل الجبلية من جهة، وقربها وموازاتها للبحر وهو مصدر الرطوبة من جهة أخرى. وفي الكورديلليرا الأمريكية تشع الثلاجات الصغيرة من حول قمة جبل رينيير (ارتفاعه ٤٣٩٣ م) أعلى قمة في مرتفعات كاسكيد بغرب أمريكا الشمالية.

هذا وتتميز الثلاجات وكتل الجليد بعدة ظاهرات نشير إليها فيما يلي:

الهوة الجليدية **Bergschrund**: وهي ثغرة تفصل بين حقل الجليد وبين حوائط الجليد الذي يغطي القمم المحيطة. ويغطيها في العادة معبر رقيق من الجليد. وهي تمثل عقبة في سبيل هواة تسلق القمم الألبية، وهي تمثل الحد الذي تتحرك عنده كتل الجليد من بين الحوائط الصخرية التي تكتنف الحوض (شكل ١٥٨).



شكل (١٥٨)

الهوة الهامشية **Randkluft** : وهي أشبه بثغرة أو فجوة تقع بين واجهة الصخر خلف الحلبة الجليدية وحقل الجليد Firn أو الثلاجة الحلبية Cirque glacier وهي تنشأ من انصهار الجليد بسبب الإشعاع الحراري من الحوائط الصخرية.

الشقوق Crevasses : حينا يزداد الانحدار يتشقق سطح جليد الثلاجة نظراً لأن اختلاف معدل الحركة في كتلة الجليد يسبب نوعاً من الشد والتمزق يؤدي إلى تكوين تلك الشقوق. وقد تكون هذه الشقوق عرضية أي متعامدة على اتجاه حركة الجليد، وتنشأ عادة نتيجة لازدياد الانحدار؛ وقد تكون الشقوق طولية أي موازية لاتجاه حركة الجليد، وتنشأ عن التفاوت في سرعة الجليد وتتقاطع الشقوق في كل الاتجاهات حينا يزداد الانحدار زيادة ملحوظة وينشأ عن ذلك ما يسمى بالمسقط الجليدي Ice-Fall . وتكثر المساقط الجليدية المعقدة في مجاري الثلاجات التي تنبع من كتلة مون بلان، وتنحدر بشدة إلى وهدة شاموني Chamonix . مثال ذلك ثلاجة دي بوسون Bossons التي تنحدر بالقرب من جبل جراند موليت Grand Mulets من ارتفاع يزيد على ٣٠٠٠ م إلى ارتفاع ١٠٠٠ م على امتداد مسافة لا تزيد كثيراً عن ٣ كم (هي طول الثلاجة)، ومن ثم فإنها تتميز بمساقط غاية في الوضوح. وتعتبر الهيارات الجليدية صفة مميزة لمثل هذه المساقط الجليدية. وفي عام ١٩٦٥ تساقط جليد هيارة ضخمة انفصلت من ثلاجة ألالين Allalin إلى وادي ساس في Saas-Fe في سويسرا، فدفنت مائة عامل كانوا يشتغلون في منطقة ماتمارك Mattmark .

ظواهر الورقية (الطباقية) والأمواج الجليدية:

تتميز كتلة جليد الثلاجة بمميزات تركيبية تفصيلية لم يفهم كنهها بعد

تماماً ومنها شيوع ظاهرة التورق أو الورقية Foliation ، وهي نوع من الطباقية يبدو أنها تمثل التراكمات السنوية للثلج في حوض التجميع الثلجي. وفيها تنتظم البلورات الثلجية بطرق مختلفة. فالطبقة قد تكون نقية تشبه الزجاج أو قد تكون كبيرة البلورات فقاعية المظهر . وقد تكون الطبقات قريبة من الأفقية أو مرتبة على سطوح بزوايا مختلفة بالنسبة للسطح ، أو قد تكون منتظمة في شكل ورقي ، مموّج. وقد تبدو الطبقات أحياناً ملتوية بشكل ظاهر ، وذلك بسبب ظروف محلية قد يحدثها تدافع جليد رافد قوي ، أو نتيجة لعدم انتظام الانحدار والسرعة.

وهناك ظاهرة أخرى أثارت الكثير من الاهتمام والبحث وهي وجود حزم متعاقبة من الثلج الداكن والفاتح اللون تنحني أو تتقوس تجاه أدنى الثلاجة فوق سطح الجليد أو في ثناياه ، وكذلك وجود أنماط مشابهة من الأمواج الجليدية Ice-waves ، والمنخفضات والحزم المغبرة. ولا يوجد تفسير عام مقنع لهذه الظواهر جميعاً رغم كثرة الآراء في تعليلها . ورغم هذا فيمكن القول بأن الحزم المنحنية صوب أدنى الثلاجة (تعرف باسم Ogives) تنشأ من اختلاف سرعة الجليد في النهر الجليدي ، فالسرعة تزداد في الوسط عنها في الجانبين حيث يعرقل حركة الجليد احتكاكه بالحوائط الصخرية.

ظواهر أخرى فوق سطح الثلاجة:

تغطى سطح الثلاجة أثناء الشتاء طبقة من الثلج الحديث التساقط تخفي أسفلها الشقوق في سطح الجليد. أما في الصيف فيظهر سطح جليد الثلاجة مكشوفاً تبدو فيه الشقوق بوضوح ، كما تكتنفه حافات جليدية يبرزها تضاغط كتل الجليد. وفي النهار يذوب سطح الجليد ، وتتجمع المياه

الذائبة في برك قد تكون أحياناً فسيحة تشبه البحيرات، كما تتدفق المياه في مجاري عميقة ما تلبث أن تنحدر بشدة عند حافة أول شق تصادفه في هيئة شلال. وتعمل المياه المنحدرة على حفر ما يشبه البالوعة في الجليد. وتسرع عملية الحفر حينما تسقط في الحفرة صخرة تستقر على قاعها، ثم ما تلبث أن تدور (كالطاحونة أو الرحاية) نتيجة لتساقط المياه عليها من أعلى فتساعد في نحر الحفرة. وقد يكون الشق من العمق بحيث يصل إلى القاع الصخري للنهر الجليدي. وفيه تحدث حينئذ نفس العملية فتنشأ فجوات مصقولة. وهناك عدد منها فيما يسمى بالحديقة الجليدية Gletscher-Garden بلوسيرن- سويسرا. وقد تكونت هذه الحفر هناك أثناء العصر الجليدي. وظواهر البرك والبحيرات والمجاري فوق سطح جليد الثلاجة هي ظواهر نهارية، فعندما يحل الليل تعود المياه السطحية أو معظمها إلى التجمد.

٣- **ثلاجات حضيض المرتفعات**: تتكون ثلاجات حضيض المرتفعات Piedmont glaciers حينما تتحرك ألسنة جليدية منفصلة فيما بين السلاسل الجبلية وتهبط إلى السهول أو الأراضي الأمامية Forelands حيث تنتشر هناك. وهي في أبسط صورها لسان جليدي يمتد أمام نهاية واد جليدي، وتسمى حينئذ بالثلاجة الممتدة عند حضيض المرتفع expanded foot glacier. ويشيع وجود مثل هذه الألسنة الجليدية عند هامش ثلاجة فاتنا Vatna في أيسلندا ومثلها لسان سكايدارا Skeidara عند جانبها الجنوبي.

ويطلق تعبير ثلاجة حضيض المرتفع Piedmont glacier على اتحاد عدد من الأودية الجليدية المنفردة فوق أرض أمامية. ومثلها ثلاجة ويلسون Wilson في فكتوريا لاند الجنوبية بقارة أنتاركتيكا، وثلاجة بيرنج Bering في ألاسكا، وثلاجة فريدريكس هاب Fredrekshaab على

الساحل الغربي لجرينلندا. وأشهر ثلاجات حضيض المرتفعات هي ثلاجة مالاسبينا Malaspina في ألاسكا وهي تغطي مساحة تبلغ نحو ٣٩٠٠ كم٢. ويغزر تساقط الثلوج فوق سلسلة سان إلياس الممتدة في جنوب ألاسكا نتيجة لورود تيارات هوائية رطبة من فوق المحيط الأطلسي تقابل الحاجز الجبلي الذي يمتد موازيا للساحل، وينشأ عن ذلك تراكم الثلوج في حقول فسيحة بين القمم الجبلية، التي تبلغ أقصى ارتفاع لها في قمة لوجان Logan (٦٠٠٠ م)، وتتحرك أربع ثلاجات نحو خليج ياكوتات تقوم بتموين ألسنة جليدية تنتشر فوق السهل الساحلي. ويصل إحداها إلى البحر مكوناً لجروف جليدية، وتختفي الثلاجات الثلاث الأخرى أسفل كتلة ركامية غير منتظمة الشكل. وأسطح هذه الألسنة الجليدية منبسطة تماماً وترتفع فوق منسوب البحر بنحو ٤٦٠ م، ويبلغ سمك جليدها نحو ٣٠٠ م. وقد انتشر الجليد انتشاراً كبيراً لدرجة أن حركته قد أصبحت بطيئة للغاية، بل إن كثيراً من كتل الجليد الأمامية تبدو عديمة الحركة حتى أن الأشجار قد نمت فوق سطح الركامات العليا.

الجليد كعامل نحت

لقد كان لجليد العصر الجليدي تأثيره العظيم في أسطح أجزاء عظيمة من أراضي العروض المعتدلة. وما دامت للجليد القدرة على القيام بوظائف النحت والنقل والارساب. وهي وظائف نلاحظها ونشاهدها في وقتنا الحالي فوق المرتفعات وفي العروض العليا، فإنه كان وما يزال من بين العوامل الرئيسية في تشكيل مظاهر البيئة الطبيعية. ويمكن القول عامة بأن المناطق المرتفعة هي التي تأثرت وتتأثر بالنحت الجليدي، بينما الأراضي المنخفضة

مي مناطق الارساب الجليدي، هذا برغم أن الرواسب الجليدية يمكن رؤيتها بين التلال، كما وأن الشواهد تدل على تسوية وصقل للأسطح الصخرية بواسطة الجليد في الجهات السهلية.

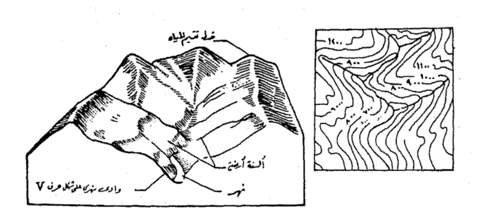
ويمارس الجليد عمله في نحت الصخور عن طريق عمليتين.

١- تفتيت كتل الصخور التي أصبحت متجمدة في قاع الوادي وجوانبه والتقاط فتاتها ودفعه معه.

٢- تآكل الصخور أسفل جليد الثلاجة عن طريق ثقل كتلة الجليد وضغطها واحتكاك الصخور التي تحملها الثلاجة.

وتساهم عملية النحت بفعل الجليد في تشكيل سطح الأرض، وهي المسئولة عن تكوين عدة ظاهرات أهمها ما يلي:

١- الأودية الجليدية ٢- الأودية المعلقة ٣- الحلبات الجليدية ٤- الحافات الجبلية ٥- القمم الهرمية ٦- الصخور الغنمية. وتنشأ هذه الظاهرات أساساً بفعل جليد الثلاجات.

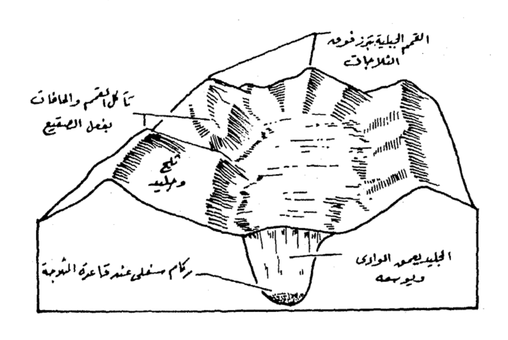


شكل (١٥٩ أ) منطقة جبلية تحوي أودية نهرية مائية قبل أن يصيبها فعل الجليد.

الاودية الجليدية:

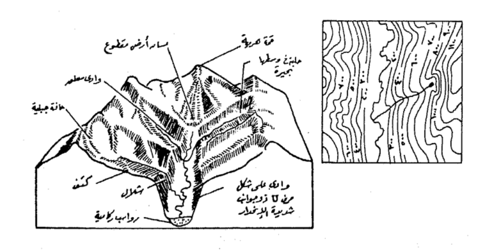
حينما نتتبع الأشكال الثلاثة (١٥٩ أ، ب، جـ) يمكننا ان نتعرف بسهولة على طريقة تكوين الأودية الجليدية التي تبدو بشكل الحرف 'الأفرنجي' U. ويوضح الشكل (١٥٩ أ) مظهر منطقة جبلية يجري بها نهر مائي له روافد تأتيه من مناطق تقسيم المياه على جانبيه، وذلك قبل أن تتأثر المنطقة بفعل الجليد.

وحين غطى الجليد المنطقة (أثناء العصر الجليدي) بدأ يمارس فعله (١٥٩ ب) فأخذ في تعميق وتوسيع الوادي النهري، كما أخذ في العمل على أن يكون الوادي مستقيماً وذلك بنحت وتقطيع الألسنة الجبلية Spurs التي تحف به. وتراجعت بالنحت والتجوية خطوط تقسيم المياه وتقطعت وتحولت إلى حافات جبلية وقمم هرمية الشكل.



شكل (١٥٩ ب) نفس المنطقة السابقة وقد غطاها الجليد.

وحينا ذاب الجليد نهائياً، ظهرت تلك الأشكال بوضوح. فأنت ترى في الشكل (١٥٩ جـ) هيئة الوادي أشبه بحرف U، وهو يمثل القطاع العرضي المثالي للوادي الجليدي. فهو يبدو أشبه بحوض مستطيل قاعه منبسط وتحف به جوانب شديدة الانحدار. وفوق هوامش الوادي العليا من الجانبين نرى مصطبتين أو كتفين يقعان بينها وبين الحافات الجبلية الأعلى. وتهبط الروافد بانحدارات عادية فوق الأكتاف، لكنها ما تلبث أن تندفع عند هوامشها وتسقط بشلالات إلى قاع الوادي الرئيسي. وطبيعي أن يكون هناك تفاوت في تفاصيل مثل هذه الأودية، مرده إلى طبيعة الصخور وتراكيبها في المنطقة. والخصائص التي أوردناها هي للشكل المثالي الذي يمثله وادي لوتر برونين Lauterbrunen الشهير بسويسرا.



شكل (١٥٩ جـ) نفس المنطقة السابقة بعد أن انصهر الجليد.

الأودية المعلقة:

حينا تنظر إلى الشكل (١٥٩ جـ) ستجد أودية جانبية تجري فوق

الأكتاف على مستوى عال بالنسبة للوادي الرئيسي، وهي تهبط إلى النهر الرئيسي عن طريق مساقط مائية. وتسمى هذه الأودية العالية بالأودية المعلقة Hanging Valleys ويرجع تكوينها إلى أن كتل الجليد التي كانت تتحرك فيها لم تستطع نحت مجاريها إلى مستوى قاع الوادي الرئيسي الذي نحته النهر الجليدي الرئيسي (أنظر شكل ١٥٩ ب) فبقيت قيعانها معلقة أي أعلى من قاع النهر الرئيسي.

الحلبات الجليدية:

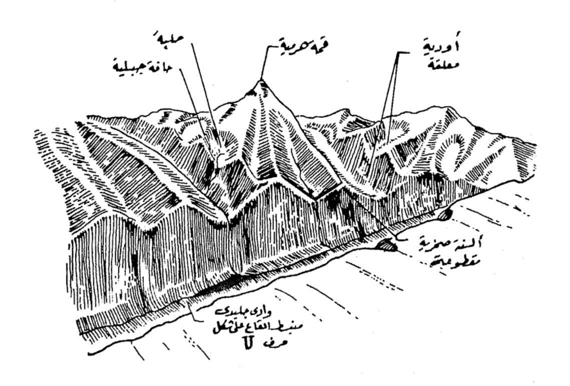
تنشأ الحلبات (cirques بالفرنسية وCorrie أو Coire بالجاليسية) من عمليات تعميق الجليد لحفر كانت موجودة في الأصل عند رؤوس الأودية في أعالي الجبال، فتتحول تلك الحفر إلى حلبات أي إلى أحواض شكلها هلالي أو نصف دائري، وقد تملأها المياه مكونة لبحيرات حينما ينصهر جليدها (أنظر شكل ١٥٩ جـ وشكل ١٦٠).

ويتم تعميق الحفر وتوسيعها عن طريق تتابع عمليات التجمد والذوبان في الشقوق والفواصل الموجودة في صخور الحوائط المحيطة بتلك الحفر التي يملأها الجليد. وتتسبب هذه العملية التي تعرف باسم Nivation في تحلل الصخر وتفككه. وتساعد المياه الذائبة في تحريك الفتات الصخري الناتج عن تأثير هذه العملية وإخلاء الحفر منه، ومن ثم تنشأ «تجاويف فعل التجمد والذوبان Nivation-Hollows» وحينما ينمو التجويف المليء بالجليد ويكبر فإنه يصبح مصدراً لحقل جليدي أو حتى لثلاجة جبلية تقوم بالتقاط الفتات الصخري من قاعها. ويعمل الماء الذائب، خصوصاً منه ما يأخذ طريقه إلى الهوة الجليدية وإلى حضيض الجدار الخلفي للثلاجة على «تقويض سفلى أو قاعدي» وذلك بواسطة تتابع تجمده وذوبانه، ومن ثم

يعمل على الابقاء على شدة انحدار جدران الحلبة، ويحافظ بذلك على شكلها ويساعد الحطام الصخري أسفل الثلاجة على تعميق الحلبة، إذ يؤثر كعامل تفتيت ونحت. وقد تبين من الدراسات الحديثة أن حركة الجليد في الحلبة دائرية تدور حول نقطة تقع في وسط الحلبة، وهي عملية تساعد أيضاً على إعطاء الحلبة شكلها الهلالي.

الحافات الجبلية والقمم الهرمية:

وتتكون الحافات الجبلية Aretes «يمكن تسميتها بالضلوع أو السيوف» حينما يزداد النحت في جانبي حلبتين متجاورتين، فتقتربان من بعضهما فلا يفصلها حينئذ سوى حافة جبلية حادة. أما القمم الهرمية



شكل (١٦٠) ظواهر النحت الجليدي.

Pyramidal Peaks فتنشأ حين تتجاور ثلاث حلبات أو أكثر وتفصل بينها حافات جبلية. ويزداد وضوح وحدّة تلك القمم بواسطة فعل الصقيع، وأشهرها قمة ماترهورن Matterhorn بسويسرا « شكل ١٥٩ جـ وشكل ١٦٠ ».

الصخور الغنمية **Roche moutonnée**:

وهي عبارة عن صخور بارزة في قاع الوادي الجليدي. وتتميز بسطحها الأملس وبشكلها المنحنى الذي يشبه ظهور الغنم. وترجع نشأتها إلى أن الجليد أثناء نحته لقاع الوادي الجليدي نحتاً رأسياً لم يقو على إزالتها أو الدوران من حولها كما تفعل المياه، بل تحرك فوقها وأخذ يحتك بها فصقلها وبراها.

الجليد كعامل إرساب

تحمل الأنهار الجليدية كميات عظيمة من المواد الصخرية التي تعرف في مجموعها بالرواسب الجليدية أو الركامية. وهي رواسب غير متجانسة وتتركب من جلاميد ورمال وطين. وقد اشتق بعضها من نحت الجليد لقاع المجرى وجوانبه، وبعضها الآخر قد تساقط من المنحدرات الجبلية على سطح الجليد، ثم دخل بين ثناياها خلال الشقوق الطولية والعرضية التي تكتنفه.

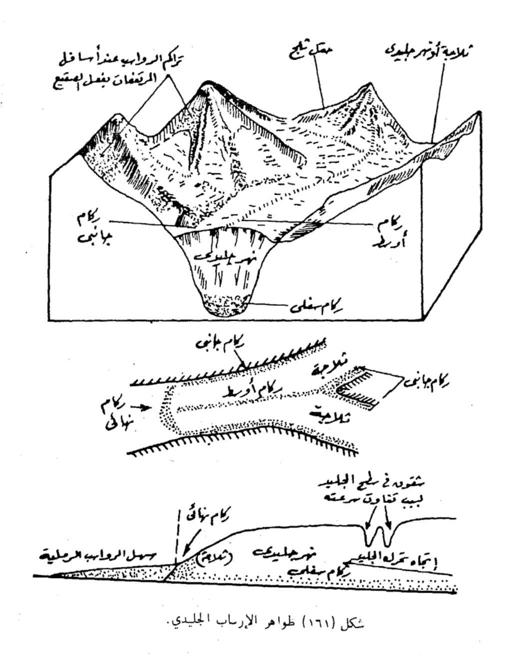
وتتمثل مظاهر الإرساب الجليدي في الركامات بأنواعها، وفي الصخور الضالة والصلصال الجلاميدي ثم الكثبان الجليدية بمختلف أشكالها. وفيما يلي وصف لكل منها.

ركام جانبي Lateral moraine: ويتراكم على جانبي الوادي الجليدي. وتتألف مواده من الحطام الصخري الذي يتساقط من جدران الوادي وجوانبه بفعل عمليات التجوية، كتأثير الصقيع والتجمد والذوبان، وبفعل أحتكاك الجليد بالصخور التي تتركب منها جوانب الوادي. وتحف الركامات الجانبية بجليد النهر من جانبيه وتحدد مجراه (شكل ١٦١).

ركام أوسط Medial moraine: ويرى في وسط المجرى الجليدي. وترجع نشأته إلى إتحاد ركامين جانبيين لنهرين قد التحما في مجرى واحد. وقد تتصل عدة أنهار جليدية وتجري كلها في مجرى واحد متسع. فينشأ عن ذلك عدة خطوط متوازية من الركامات الوسطى (شكل ١٦١).

ركام سفلي أو أرضي Ground moraine: ويتكون في قاع النهر الجليدي من المواد التي نحتها وطحنها أثناء تحركه، ومن المواد التي تتساقط من جوانب الوادي على سطح الجليد، ثم تنزلق خلال الشقوق الطولية والعرضية وتصل إلى القاع. وهي عموماً رقيقة قليلة السمك، ولا تظهر إلا حينما يذوب الجليد (شكل ١٦١).

ركام نهائي Terminal moraine: وهو الذي يتكون عند نهاية النهر الجليدي حيث ينصهر الجليد ويتحول إلى مياه لا تقدر على نقل كل المواد التي جرفها ونقلها الجليد، فيترسب قسم منها في هيئة تلال هلالية الشكل تقريبا. ويرجع شكلها الهلالي إلى إختلاف سرعة تحرك كتل الجليد في النهر الجليدي، فحركة الجليد في الوسط أسرع منها عادة في الجوانب نظراً لاحتكاكه بها، وتبعا لذلك تجد نهاية النهر الجليدي محدبة أو هلالية الشكل. ويعظم حجم الركام النهائي حينما تتوقف نهاية أو جبهة النهر الجليدي فترة طويلة يحدث الذوبان والإرساب أثناءها باستمرار (شكل ١٦٢).



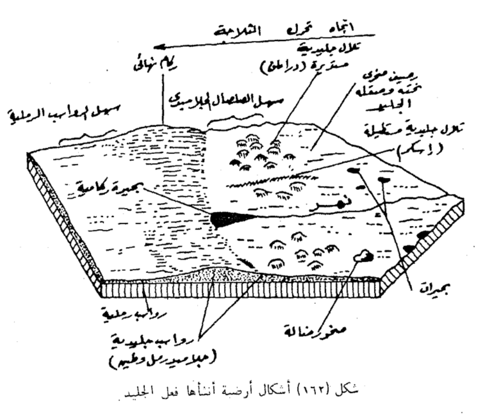
شكل (١٦١) ظواهر الإرساب الجليدي.

الصخور الضالة Erratics: وهي عبارة عن كتل صخرية كبيرة الحجم نقلها الجليد لمسافات طويلة ثم أرسبها في مناطق بعيدة عن مصادرها الأصلية. وتظهر فيها حزور وخدوش هي آثار إحتكاك الجليد بها، وسميت

بالصخور الضالة لأنها توجد الآن في مناطق غريبة عن موطنها الأصلي. فقد نجد كتلة صخرية جرانيتية ضالة في منطقة تتألف من الصخور الجيرية مثلا. وقد تسمى بالصخور المرشدة نظرا لأنه بدراستها يمكن التعرف على المنطقة التى أشتقت منها، ومن ثم ترشدنا إلى مسار الجليد الذي دفعها من موطنها الأصلي إلى بيئتها الجديدة الغريبة عنها (شكل ١٦١).

الصلصال الجلاميدي **Boulder clay**: هو النتاج الرئيسي للارساب الجليدي، ويعرف أحياناً باسم تيل Till كما يدعى حقل إرسابه باسم سهل التيل Till Plain، وهي رواسب غير طباقية تتألف في معظمها من الصلصال والرمال وتحوي أحجاراً متفاوتة الأحجام والأشكال. وهي تمثل الركام السفلي للغطاء الجليدي. ويتنوع تركيبها تنوعاً كبيراً على حسب مصادر مكوناتها. وعادة ما تكون هذه الرواسب من الوضوح بحيث تُعطى لها أسماء محلية كما في بريطانيا وألمانيا وسويسرا.. وقد أرسب معظم الصلصال الجلاميدي في هيئة غطاءات فسيحة تشقها الأنهار الحالية. وعلى الرغم من أنها تنتشر في شيء غير قليل من التناسق والانبساط إلا أن سطحها يبدو موجاً تموجا هيناً بل قد يكون تلالياً. وفي أجزاء من السهل الأوروبي الشمالي نجد تجاويفاً ضحلة تكتنف تلك السهول وتملأها المياه مكونة لبحيرات (شكل ١٦٢).

الكثبان الجليدية **Drumlins**: وتنشأ من تراكم الصلصال الجلاميدي في بعض الجهات في هيئة أسراب من التلال المنخفضة المستديرة الشكل تعرف باسم درملين (شكل ١٦٢) وهي تتفاوت في أحجامها وأبعادها: فمنها الربوات الصغيرة التي لا تتعدى أبعادها بضعة أمتار، ومنها التلال الكبيرة التي يبلغ طول كل منها زهاء كيلو متر أو كيلو مترين وإرتفاع كل منها نحو ١٠٠ م. وهي توجد بكثرة في السهل الأوروبي الشمالي وفوق الهضبة



شكل (١٦٢) أشكال أرضية أنشأها فعل الجليد

السويسرية، وفي الفورلاند البافارية في جنوب ألمانيا حيث تتواجد فيما بين خطوط الركامات النهائية المتتابعة. وهي تبدو في نمط متشابه متناسق، وتشبه في مظهرها حشداً من البيض المتجاور. وتتركب الدرملين عادة من الصلصال الجلاميدي. ولها محاور طولية تمتد عموماً في إتجاه تحرك الجليد. ويبدو أن الجليد قد أرسب تلك الكتل الصلصالية، لأن الأحتكاك بين الصلصال والأساس الصخري كان أعظم منه بين الصلصال والجليد من فوقه، وتبعاً لذلك فإن شكل تلك الكتل الصلصالية قد أصبح طولياً في إتجاه تحرك الجليد. وتحوي بعض الكثبان نواة صخرية من حولها تراكمت الرواسب الصلصالية، وقد يكون سمك غطاء الرواسب من الرقة بحيث يسمى الشكل بالدرملين الصخري Rock-drumlin أو الدرملين الكاذب False-drumlin.

إسكر **Esker** :هناك عدة تعبيرات تطلق على ربوات وحافات تتركب من الرمال والحصى الجليدي. وقد تفاوت إستخدام هذه التعبيرات لدى مختلف المؤلفين. ويمكن إطلاق تعبير إسكر على كل هذه الرواسب ونقسمها بعد ذلك إلى مجموعتين: أوزر osar (ومفردها أوز Os) ثم الكام Kame .

وتل الأوز هو في الواقع إسكر بالمعنى الصحيح. فهو يبدو بشكل حافة طويلة تتركب من الرمال الخشنة والحصى (شكل ١٦٢). وتلال الأوز شائعة الوجود في فنلندا وبروسيا الشرقية (قسمت عقب الحرب الماضية بين روسيا وبولندا) والسويد حيث توجد مبعثرة بين البحيرات والمستنقعات. وهي توجد أيضا في بعض بقاع سويسرا وألمانيا وفي أجزاء من شمال انجلترا واسكتلندا. ونشأتها غير مؤكدة. وأغلب الظن أنها تمثل تراجعاً «لدالات» تكونت عند هوامش الغطاء الجليدي أو الثلاجات بواسطة مجاري مائية خلال أو أسفل الجليد حينما تراجع الغطاء الجليدي أو الثلاجات بسرعة. وبسبب طبيعة وجود المجاري السفلى فإن الضغط الهيدروستاتي يكون كبيراً، فيسبب تدفق المياه بسرعة، ومن ثم فقد استطاعت نقل حمولة كبيرة. وحينما كانت المياه تنبثق من أسفل الجليد كان الضغط عليها يخف، وتبعاً لذلك فإنها تبطيء في جريانها فجأة فتلقي بكثير من حمولتها مكونة للأوزر.

كام **Kames** : وهي تلال تعرف أحياناً بدالات الكام **Kame deltas** . وتتألف من ربوات مموجة تتركب من الرمال والحصى الطباقي، وتنتظم في هيئة مشوشة معقدة. وهي في واقع الأمر مجموعات من المخروطات الرسوبية أو الدالات المروحية أرسبت بلا تناسق على إمتداد جبهة غطاء جليدي توقف عن الحركة فترة طويلة وهي تختلف في ذلك عن تلال الأوز الطويلة التي نشأت عندما كان الغطاء الجليدي يتراجع بسرعة ويميز بيئة

الكام الطبيعية وجود تجاويف ضحلة يكثر وجودها في منطقة كيتيل Kettle في جنوب ولاية ويسكونسين بالقرب من بحيرة ميتشيجان. وقد نشأ معظمها من إرساب المواد حول كتل جليدية منعزلة اقتطعت من الغطاء الجليدي الرئيسي ثم ذابت وتركت كل منها حفرة أو تجويفاً كانت تشغله. وتحتل البحيرات الصغيرة هذه التجاويف في وقتنا الحالي. ويمكن مشاهدة مثل هذه الكتل الجليدية في مواضعها في جزيرتي أيسلندا وسبتسبيرجين.

وينتشر وجود تلال الكام في سهول أمريكا الشمالية وشمال غربي أوربا حيث تغطي مساحة تقدر بعديد من الكيلومترات المربعة. وقد أمكن تتبع نطاق من الكام في لونج أيلاند غرباً إلى ولاية ويسكونسين. وهي توجد في شمال أوربا موازية لتلال البلطيق. ويشيع وجود تلال الكام الحصوية بين مستنقعات السهل الأوسط بأيرلندا حيث تبدو هناك في هيئة عقد من الربوات المموجة أو في شكل حواجز شديدة إنحدار الجوانب يصل إرتفاعها إلى ٢٠ م. وهي تمتد عبر السهل في حنيات تشبه الأفعى. وتسمى في أيرلندا باسم أيسكير Eiscir ومنها أشتق الاسم الانجليزي Esker. ويمتد أيسكير ريادا Eiscir Riada عبر أيرلندا من مشارف دبلين Dublin إلى إقليم جالواي Galway ويتقطع أحيانا ثم يختفي بالقرب من Atglone بسبب التعرية لنهر شانون Shannon.

تأمل الشكل (١٦٢) ستجد أنواعاً من الأشكال الأرضية التي أنشأها فعل الجليد. ولكن ينبغي أن تتذكر أن هذا مجرد شكل توضيحي مبسط. ففي الطبيعة نجد تلك الأشكال مختلطة مضطربة التوزيع. وتظهر تلك الأشكال حينما يأخذ المناخ في الدفء، فيذوب الجليد ويختفي في النهاية، وهذا بالطبع يأخذ وقتاً طويلا خلاله تترسب كل المواد الركامية. ويحمل

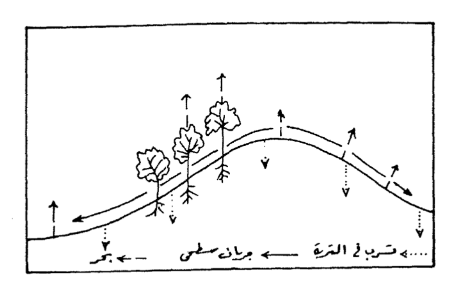
الماء الذائب من جبهة الجليد كميات هائلة من الرواسب الركامية الدقيقة ثم يرسبها مكونا لسهول رملية فسيحة تعرف بسهول الساندر Sander (Outwash Plains) وتحوي مواد هذه السهول كميات كبيرة من الفتات الصخري الدقيق والرمال وتشبه إلى حد كبير الرواسب النهرية المائية.

الماء الباطني وأثره في تشكيل سطح الأرض

حركة الماء أسفل وجه الأرض موضوع هام طبيعيا وبشريا. ويتم الحصول على قسم لا يستهان به من مياه الشرب عن طريق حفر الآبار لضخ الماء الباطني، الذي يتم تكريره طبيعيا أثناء تجوله خلال الصخر. وتدين كثير من القرى بمواقعها إلى ظهور الماء الباطني على السطح في هيئة ينابيع، وفي الجهات الجافة والشبه جافة يصبح الماء الباطني المصدر الوحيد للمياه اللازمة للأحياء. وفضلا عن ذلك فإن النشاط التحاتي للمياه، أثناء تسربها ومعالجتها لمسالكها خلال الصخور، لا يقتصر تأثيره على تشكيل ظاهرات تحت سطحية، تتميز بالتنوع في المناطق الجيرية، ولكنه ينشيء أيضاً ظواهر سطحية كالبالوعات، ومنخفضات الارتكاز، والكهوف وغير ذلك مما سنعرض له بعد قليل.

وتتعدد مصادر الماء الباطني: فقسم يسير منه، يعرف بالماء المتبقي Conuate Water, تم حفظه واستبقاؤه في الصخور الرسوبية منذ فترة تكوين تلك الصخور، ومنه كمية تأتي عن طريق التحرر أثناء عمليات التمايز في أفران الصهير، وهذا الماء عادة ما يكون حاراً ومتمعدنا، ويعرف بالماء الصهيري Juvenile or Magmatic. وقد يتسرب بعض الماء البحري أو المحيطي خلال الصخور إلى يابس المناطق الساحلية. والواقع أن كل هذه المصادر صغيرة الأهمية إذا ما قارناها بالماء الكوني (الجوي) Meteoric الذي يصدر من المطر مباشرة، أو من انصهار الثلج والجليد.

وحينما تتساقط الأمطار أو تنصهر الثلوج، ينصرف قسم من المياه على السطح مكونا للمجاري المائية والأنهار، ويتبخر قسم ثان بطريق مباشر، أو غير مباشر بواسطة النتح النباتي، ويتسرب قسم ثالث خلال التربة إلى



شكل (١٦٣) مصير مياه المطر.

الصخر الأساسي كي يكون الماء الباطني، أو ما يسمى بالماء الفرياتي Phreatic (شكل ١٦٣).

وتتحكم طبيعة الصخور، وإنحدار الأرض والمناخ في نصيب كل من الجريان والتّبخر والتسرب. فالجريان على المنحدرات الشديدة يكون أعظم منه على المنحدرات الهينة، والتّبخر في المناخات الجافة أكثر منه في الرطبة، والتسرب يجد سبيله في سهولة ويسر خلال الصخور الرملية والجيرية والطباشيرية، ويقل في الصخور البلورية كالجرانيت.

نفاذية الصخور:

يمكن تقسيم الصخور من هذه الوجهة إلى صخور منفذة permeable تسمح بتسرب المياه خلالها، وإلى صخور غير منفذة impermeable أو صماء لا تسمح بتسرب المياه بقدر معقول. وتدين الصخور المنفذة بخاصية

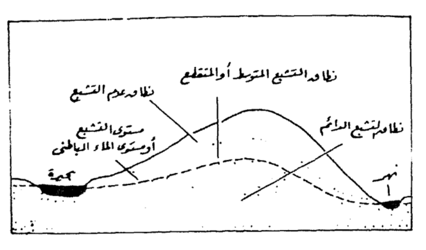
النفاذية إما إلى (١) مساميتها porosity . التي اكتسبتها عن طريق نسيجها المفتوح، ومكوناتها الخشنة الحبيبات. وضعف تماسكها، مع وجود مسام ذات أحجام معينة، ومن هذه الصخور الحجر الرملي والحصوى (صخور المجمعات) والصخر الجيري الحبيبي، أو (٢) أن تكون نفاديتها Pervious. تركيبيّة بمعنى أن تكون الصخور كثيرة الفواصل. وفيرة الشقوق والكسور التي خلالها يمكن للمياه أن تتسرب باطنياً، ومثلها الصخور الجيرية، والطباشيرية، وصخر الكوارتزيت، والجرانيت المفصلي.

وتخلو الصخور الصماء، كالإردواز والشيل والجابرو من الضعف التركيبي impervious. لكن بعضها يتصف بالمسامية، فالصلصال يتركب من حبيبات بالغة الدقة ، تفصلها عن بعضها مسام بالغة الصغر. لكنه حين يبتل، تمتلىء المسام بالماء وتغلق بالتوتر السطحي، فلا تسمح بتسرب المياه خلالها، فالصلصال يستطيع الإمساك بالمياه، ولكنه لا يسمح لها بالتسرب خلالها.

مستوى الماء الباطني Water Table:

يتحرك الماء الذي يخترق الصخور السطحية نزلا إلى أن يصل إلى طبقة من الصخور الصماء، فتتوقف حركته في العمق عندها. وإذا استثنينا المناطق من سطح الأرض التي يستقر الماء فوقها مكونا لبحيرات أو مستنقعات، فإنه يمكن القول بوجود ثلاث نطاقات مائية أسفل السطح، وهي (شكل ١٦٤):

١- نطاق عدم التشبع :Zone of non-saturation وهو يقع أسفل السطح مباشرة، ويمر الماء خلاله، ولا يبق منه في المسام، بعد امتصاص النبات، سوى النذر اليسير



شكل ١٦٤: مستوى الماء الباطني

٢- نطاق التشبع المتوسط: Zone of intermittent saturation
وتحوي مسام صخور هذا النطاق مياها عقب سقوط الأمطار لفترة طويلة، ولكنها تجف إذا طالت فترة الجفاف.

٣- نطاق التشبع الدائم Zone of permanent saturation. وهو يمتد في العمق إلى الطبقة الصماء التي تكون حدود التسرب، ومسام صخور هذا النطاق تكون دائما مملوءة بالماء والسطح العلوي لنطاق التشبع يعرف إما بمستوى الماء الباطني أو بمستوى التشبع.

وإذا ما رسمنا مستوى الماء الباطني في هيئة قطاع كما في شكل (١٦٤)، فإننا سنجده يتبع مسار القطاع السطحي على وجه التقريب، لكننا نرى أن انحداراته تكون أقل من انحدارات قطاع السطح ويميل مستوى الماء الباطني إلى الهبوط بالقرب من الأودية النهرية، نظراً لكبر سرعة الجريان السطحي، وسرعة تصرفه وتتحرك المياه الباطنية من الأجزاء التي يكون فيها مستوى الماء الباطني مرتفعا إلى الأجزاء التي يكون فيها

منخفضا. وحركة الماء الباطني أبطأ بكثير من حركة الماء السطحي، نظراً لأن الخاصية الشعرية والاحتكاك بمكونات الصخر يعرقلان حركة الماء الباطني.

الينابيع:

حينما ينبثق الماء انبثاقا طبيعياً فوق سطح الأرض يسمى ينبوعا. وقد تتدفق المياه منه بعنف ظاهر، وقد تنزّ وتنساب في هدوء. وقد تتجاوز الينابيع وتنتظم في خط يُطلق عليه خط الينابيع Spring line. ويشير إليه في العادة وجود صف من القرى تعتمد أساسا على الينابيع كمورد للمياه. ويرتبط توزيع الينابيع بطبيعة التراكيب الصخرية، وبقطاع التضاريس السطحية، إذ تنبثق الينابيع عادة حيث يتقاطع السطح مع مستوى الماء الباطني. ومن الينابيع ما هو دائم، ومثلها يستقي مياهه من مخزن جوفي وفير المياه، وعادة ما تقع في منطقة غزيرة المطر طول العام. أما الينابيع الفصلية أو المتقطعة التدفق فإنها عادة توجد في منطقة يحل بها فصل جفاف.

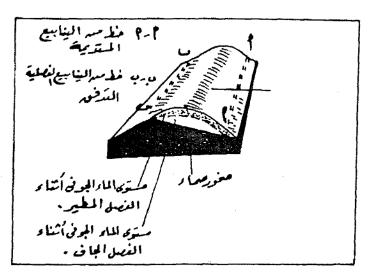
وهناك العديد من أنماط الينابيع، وأكثرها شيوعا ما يلي:

١- نوع يرتبط وجوده في جوانب التلال بطبقة صخرية منفذة تقع فوق طبقة صخرية صماء.

وفي الشكل رقم (١٦٥) نرى صفين من الينابيع يقعان حيث تلتقي الطبقتان الصخريتان بالسطح. لاحظ أن أحد الصفين دائم التدفق، والآخر فصلي.

٢- نوع يرتبط وجوده بصخور كثيرة الفواصل في منطقة تلالية. وهنا

تتسرب المياه خلال الفواصل. وتنبثق الينابيع حيث يتقاطع مستوى الماء الأرضي بالسطح (شكل ١٦٦).



شكل (١٦٥)



شكل (١٦٦)

٣- ينشأ نوع من الينابيع حيث يتقاطع سد رأسي أو أفقي مع السطح. وفي الشكل (١٦٧)، يقطع سد رأسي طبقة صخرية منفذة، فيسد الطريق أمام المياه، فيرتفع مستوى الماء الباطني أمام السد، إلى أن يلاقي السطح. فتنبثق الينابيع.

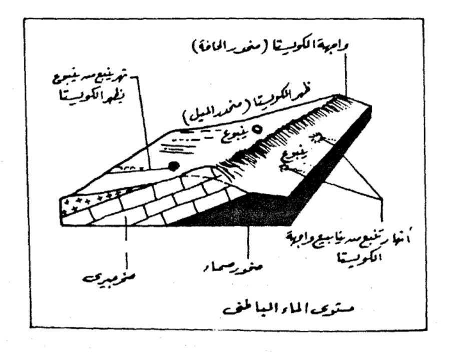
٤- من أكثر أنماط الينابيع انتشاراً، ذلك النمط الذي يرتبط وجوده بأسافل واجهات الكويستات، وبظهورها، وخاصة في المناطق التى تتركب من صخور جيرية أو طباشيرية وترتكز على صخور صماء. وفي العادة ينشأ خطان من الينابيع. (شكل ١٦٨): أحدهما على امتداد حضيض الكويستا، والآخر على ظهرها (منحدر الميل). ولما كان التصريف المائي السطحي قليلا أو معدوما فإن مواقع الاستقرار تتحدد بمواضع وجود الينابيع. مثال ذلك ينابيع إقليم كوتس وولدس Cotswolds بانجلترا، حيث يوجد خط ينبوعي عند أسافل واجهات الكويستات في الجانب الغربي للاقليم. وفي الجانب الشرقي يمتد خط ينبوعي آخر فوق ظهور الكويستات. ويعتبر نطاق « الينابيع السبعة » Seven Springs في الاقليم المنبع الرئيسي لنهر التيمز.

٥- وينشأ نوع من الينابيع حينما يتعاقب وجود طبقات منفذة وصماء تميل جميعا ميلا هينا، فحينما تتساقط الأمطار فوق الأطراف المكشوفة للصخور المنفذة، تتسرب المياه وتتحرك منحدرة على أسطح الانفصال الطبقي المائلة، وتظهر في النهاية على هيئة ينابيع (شكل ١٦٩).

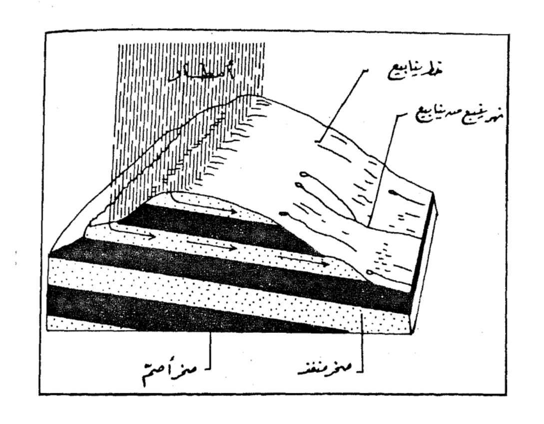
٦- يكثر وجود الينابيع حيث تلتقي بالسطح قاعدة صخور جيرية ترتكز على صخور صماء. ومثلها يدعى فوكلوز نسبة لنافورة فوكلوز Fontaine de Vaucluse في وادي الرون، حيث ينبع نهر سورج Sorgue من ينابيع تمتد أسفل جروف صخرية جيرية يبلغ ارتفاعها نحو ٣٥٠ م.



شكل (١٦٧)



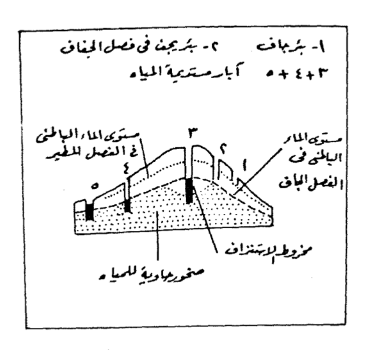
شكل (١٦٨)



شكل (١٦٩)

الآبار:

البئر ثقب يحفر في الأرض إلى ما دون مستوى الماء الباطني. فتنشع المياه من الصخور إلى البئر. وتوجد المياه بصفة مستديمة في الآبار التي تصل إلى ما دون مستوى الماء الباطني بقدر كبير. أما الآبار التي تحفر إلى ما دون هذا المستوى مباشرة فإنها تتعرض للنضوب حين يحل الفصل الجاف (شكل ١٧٠) ومياه الآبار الضحلة عادة ما تكون ملوثة نظراً لأنه لم يتم تكريرها



شكل (١٧٠)

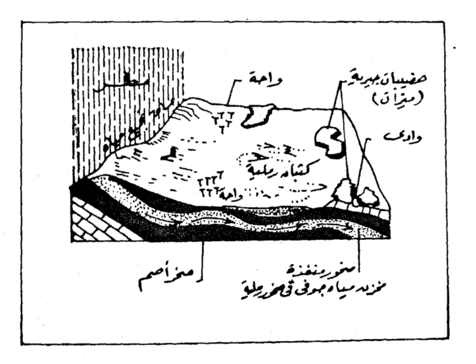
طبيعيا خلال الصخر. وحتى يكون البئر جيد المياه لا بد من حفره إلى أقصى عمق ممكن أسفل مستوى الماء الباطني، وتنبغي الإشارة إلى أن استمرار ضخ المياه من البئر يسبب إنخفاضا في مستوى الماء الباطني محليا. مكونا لما يعرف بمخروط الاستنزاف شكل (١٧٠) وحين ينشيء ضخ المياه من بئر كبير مثل هذا المخروط، تجف الآبار الضحلة المجاورة بالتدريج. وقد تسببت الزيادة المستمرة في ضخّ المياه لتموين مدينة لندن في خفض مستوى الماء الباطني في حوض لندن أكثر من ٣٠ متراً خلال الخمسين سنة الأخيرة. وتصبح الحياة ممكنة في الأقاليم الجافة حيثما أمكن رفع المياه من الآبار.

الاحواض الارتوازية:

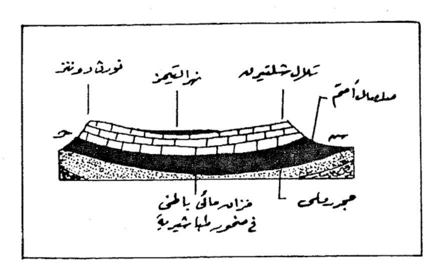
وفيها تنتظم الطبقات الصخرية في هيئة ثنية مقعرة ضحلة هينة

الانحدار. ويتركب الحوض من طبقتين صخريتين غير منفذتين تحصران بينهما طبقة منفذة، تبرز هوامشها ظاهرة فوق السطح. وتنفذ مياه الأمطار إلى الطبقة المنفذة من مخارجها. وتتشبع تلك الطبقة بالماء، وتدعى عندئذ «مخزن ماء جوفي» Aquifer. وتوجد أحواض إرتوازية ضخمة في غرب استراليا وفي الصحراء الكبرى، وفي أجزاء من أمريكا الشمالية من سسكتشوان إلى كانساس.

ويوضح الشكل رقم (١٧١) جزء من الحوض الإرتوازي في الصحراء الكبرى. ويلتوي مخزن المياه في بعض الأماكن تجاه السطح، وتكشف عنه تعرية الرياح أحيانا. فتظهر الغدران. وتتدفق العيون. وتحفر الآبار وتنشأ الواحات. ويتكون حوض لندن من ثنية مقعرة ضحلة، تتركب من الصخر الطباشيري المحصور بين طبقات صلصالية (شكل ١٧٢).



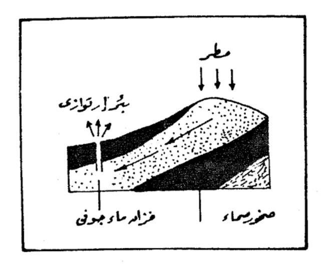
شكل (١٧١) قطاع عبر جزء من الصحراء الكبرى



شكل (١٧٢) قطاع عبر حوض لندن.

الآبار الارتوازية:

حينما يحفر بئر في مخزن ماء حوض إرتوازي، ويكون ضغط المياه كافيا لدفع الماء من المخزن لتصعد إلى السطح، يسمى البئر حينئذ بئراً إرتوازيا



شكل (١٧٣)

Artesian Well (شكل ١٧٣). أما إذا اقتصر الضغط على دفع المياه إلى قرب السطح، فإن البئر يسمى في هذه الحالة بئرا شبه إرتوازي. وترجع تسمية الآبار بهذا الإسم إلى منطقة أرتوا Artois في شمال شرق فرنسا حيث حفر هذا النوع من الآبار منذ زمن بعيد.

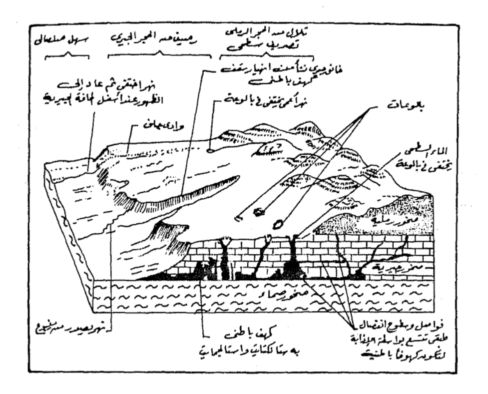
وللآبار الارتوازية قيمة كبيرة في كثير من أجزاء العالم، خصوصا حيث توجد أحواض كبيرة شبه جافة تحيط بها سلاسل من التلال تمثل مساحات لتجميع المياه. وتعتمد الصحاري العربية على المياه الباطنية في سد احتياجات سكانها من المياه. ويرجع الفضل في وجود كثير من واحاتها للآبار الإرتوازية التي تصل مياهها إلى السطح طبيعياً.

الظاهرات الجيومورفولوجية في المناطق الجيرية الرطبة
(مناطق الكارست)

تتميز بعض المناطق الجيرية في الجهات المطيرة بأشكال أرضية مثالية خاصة. ويرتبط تكوين هذه الأشكال ارتباطاً وثيقاً بما ينشأ عن عمليات الإذابة من توسيع الشقوق والفواصل والكسور، ولا بد أن يكون مستوى الماء الباطني أسفل السطح على عمق يسمح للمياه أن تتسرب باستمرار في العمق خلال الصخور وتسود هذه الأشكال مناطق خاصة من العالم أشهرها: منطقة الكارست Karst في غرب يوغوسلافيا، وإقليم الكوس Causses في جنوب شرق الهضبة الوسطى بفرنسا، وهضبة كنتاكي في الولايات المتحدة، وشبه جزيرة يوكاتان بأمريكا الوسطى، ومنطقة البنين بانجلترا.

وفيما يلي وصف مجمل لأهم ظاهرات الكارست (شكل ١٧٤).

١ - الأسطح الجيرية المضرسة: وتطلق عليها في عدة لغات أسماء محلية هي: (Karren, Schratten, Raseles, Lapies, Grykes, Clints). وتبدو الأسطح الجيرية مقطعة ومهلهلة وعرة، ومرصعة بالثقوب والخطوط الغائرة، وذلك كله نتيجة لعدم انتظام الفعل المذيب للمياه الحامضية. وتتمثل هذه الظاهرات أحسن تمثيل في منطقة الحجر الجيري الكربوني في يوركشير، وفي أجزاء من أيرلندا، ومنطقة الكوس الجيرية بفرنسا، والكارست، والجزء الجنوبي من مالطه. وهي تظهر عادة فوق مخارج الصخور المكشوفة، وتؤثر في تشكيلها عدة عوامل منها تركيب الصخر ونسيجه ومظهره، وانحدار السطح، والغطاء النباتي. ويقل وجودها فوق الطبقات الصخرية الأفقية.



شكل (١٧٤) مظاهر السطح في منطقة كارستية.

٢ - البالوعات: ويكثر وجودها في أقاليم الكارست، وتنشأ نتيجة لتسرب مياه الأمطار في الصخور من خلال الفواصل. وعند مواضع معينة، كمواضع تقاطع الفواصل، يسهل عمل الإذابة التي تحولها بالتدريج إلى ثقوب أو حفر. ويتوقف شكل الحفر على المميزات التركيبية الثانوية للصخور. وقد أمكن تمييز نوعين رئيسيين من حفر الإذابة أو البالوعات، نوع يتمثل في منخفضات قمعية الشكل في وسطها ثقب وتعرف بأسماء محلية مختلفة هي: Swallet, Swallow hole, Sink hole, Creux, Sotch dolline. والنوع الثاني

بتمثل في حفر رأسية الجوانب تشبه البئر، وتدعى بأسماء محلية هي:
.Gouffre, Avens, Ponor, Puits

وباستمرار فعل الاذابة، تتسع هذه الحفرة بالتدريج، وقد تتلاحم وتندمج في بعض المناطق مكونة لحفر أكبر تعرف بحفر الاذابة المركبة أو أوفالا **Uvala** .

وهناك نوع آخر من البالوعات كبير الحجم يعرف في يوغسلافيا باسم بولجي **Polje** ويطلق هذا الاسم على المنخفضات المستطيلة المنبسطة القاع، التي تحيط بها حوائط شديدة الانحدار. ويبدو أنها لم تنشأ أصلا عن طريق الاذابة، وإنما هي منخفضات تكتونية جرى تعديل شكلها عن طريق إذابة الصخور الجيرية التي تدخل في تركيبها.

ويوجد العديد من أمثلة البالوعات بأنواعها في مناطق الصخور الجيرية بمرتفعات منديب Mendip، والبناين، والكوس، والجورا، والبرانس والألب الأمامية، والكارست. وقد أمكن حصر ٦٠ ألف بالوعة في هضبة كنتاكي Kentucky بالولايات المتحدة.

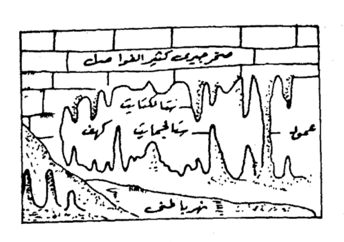
٣- الكهوف: وهي دهاليز طبيعية تمتد أسفل السطح امتدادا أفقيا ورأسيا، وتنشأ عن حركة المياه خلال الفواصل والشقوق وسطوح الانفصال الطبقي، مذيبة للجير. ويعظم فعل المياه حينما تغزر الأمطار مكونة لأنهار باطنية تعمل على توسيع الفواصل وسطوح الانفصال الطبقي بواسطة الإذابة والنحت مكونة للكهوف الضخمة. مثال ذلك كهف كارلس باد Carlsbad (نيو مكسيكو) الذي يبلغ طوله ٤٠٠٠ م، واتساعه ٦٠٠ م، وارتفاعه ٣٠٠م. وقد تم تكوين عدد كبير من الكهوف الكبيرة أثناء عصر البلايوستوسين، وبعضها الآن جاف بسبب انخفاض منسوب الماء الباطني

ومن أمثلة الكهوف في محيطنا العربي مغارة جعيطة بلبنان، وكهف الجبخ بسهل بنغازي.

ومن الكهوف ما هو عميق. فلكي تصل إلى كهف سان مارتين الواقع في أعلى جبال البرانس بالقرب من الحدود الأسبانية، تدلف إليه عن طريق مدخل رأسي يصل عمقه إلى نحو ٣٠٠ م. وأعمق كهوف فرنسا هو الكهف المعروف باسم « بئر الراعي » Puits Berger بمقاطعة إيزير Izere. ويقع على عمق ١٠٠٠ م، ويقال إنه أعمق كهوف العالم.

ومن الظاهرات التي توجد بالكهوف ما يعرف باسم الأعمدة الجيرية الهابطة Stalactite، والأعمدة الجيرية الصاعدة Stalagmite،وتنشأ عن ترسيب كربونات الكالسيوم في أسقف الكهوف وعلى قيعانها، فوق نقط متعامدة على مستوى الكهف، ويحدث الترسيب في الحالة الأولى من نقط مائية تنز من الشقوق والفواصل الموجودة في السقف، حين يجف الماء بسبب التبخر أو بسبب إنطلاق بعض من ثاني أوكسيد الكربون الموجود في النقط المائية، فتنفصل لذلك الكربونات من محلول البيكربونات، ويترسب الجير. وباستمرار حدوث الترسيب تنمو الأعمدة الهابطة نزلا إلى قاع الكهف.

ويتساقط كثير من النقط المائية من السقف إلى قاع الكهف حيث تجف، ويترسب محتواها الجيري، وينمو بذلك العمود الصاعد من قاع الكهف إلى سقفه: ويحدث أن يطول أحدهما أو كلاهما أو قد يلتقيان، فيرتبط السقف بالقاع بواسطة عمود متصل (شكل ١٧٥) وبعض هذه الأعمدة ذو حجم كبير. ففي كهف بمقاطعة لوزير Lozere (اسم الكهف Avens d'Armande) بهضبة فرنسا الوسطى، يتراوح إرتفاع الأعمدة بين ٢٠٠- ٢١٥ م، وتدعى بالغابة العذراء. وقد قيس معدل نمو الأعمدة الهابطة في



شكل (١٧٥): منظر داخلي لكهف.

بعض كهوف انجلترا، فوجد أنه يصل إلى ٧ ملم في السنة أو حوالي ٧٠ سم في كل ١٠٠ سنة. ويبدو أن معدل النمو كان أسرع فيما مضى، حينما كان مستوى الماء الباطني أعلى منه حاليا، وكانت المياه العسرة المتجولة في الصخور أوفر.

ويوجد بالكهف ما يعرف باسم Helictite، وهي رسوبيات متبلورة ذات أشكال كثيرة التنوع، وهي قد تكون رفيعة كالخيط، وتنتظم في هيئة مغزلية، أو في شكل عقد وأنشوطات، وقد تترتب في حبال منظومة من الحبات الجيرية المتبلورة.

٤- المجاري المائية الباطنية: يصبح التصريف المائي في المناطق التي تتركب من صخور كربونية منفذة في معظمه باطنيا. ففي الصخور الطباشيرية والجيرية التي تتميز بنفاذية عالية، والتي تحوي عديدا من الفواصل المتقاربة، يتسرب ماء المطر، ويأخذ طريقه بسرعة إلى الأعماق محللا ومذيبا لكربونات الكالسيوم، وقد قدر أن كل ميل مربع من الأراضي الطباشيرية بانجلترا يفقد ١٤٠ طنا من مواده كل سنة بواسطة عملية الكربنة. ويرجع السبب في جريان الأنهار سطحيا فوق الصخور

لطباشيريه إلى إرتفاع مستوى الماء الباطني إلى السطح معظم السنة وقد تمتص مياه هذه الأنهار وتختفي في البالوعات الموجودة في قيعانها حينما تصبح المنطقة موجة جفاف ومثالها نهر بروك بانجلترا. وهو رافد علوي لنهر كولن Colne الذي تتسرب مياهه خلال سلسلة من البالوعات في قاعه

وفي هضبة كينتاكي الجيريه بالولايات المتحدة أمكن اكتشاف خمس مستويات من الكهوف الباطنية على امتداد نحو ٢٤٠ كم. ووجد أن المستوى السفلي منها (على عمق ١٠٠ م) يشغله نهر باطني يعرف باسم «نهر الصدى» Echo River الذي ينصرف إلى «النهر الأخضر» Green River. والأخير رافد لنهر اوهايو Ohio

هذا وقد أمكن اكتشاف نهرين باطنيين في سهل بنغازي الجيري التركيب أحدهما يمتد من حصيص حافة الجبل الأخضر عبر بلدة سيه. وكهف الليثي إلى مدينة بنغازي. والآخر إلى الشمال منه بنحو ٦ كم ويوازيه. ويمر بمنطقة الكويفية حيث ينكشف في قاع عدة بالوعات. وينتهي في بحيرة ساحلية هي «عين ريانة»

(٥) **الأودية الجافة**: يعتبر وجود الأودية الجافة صفة من صفات الأقاليم الطباشيرية والجيرية الرطبة وفي المناطق الطباشيرية تبدو الأودية الجافة على ظهور الكويستات مكونة لنمط يذكرنا بنمط النظم النهرية العادية. ويظهر كثير منها مميزات مماثلة للاودية التي تجري بها الأنهار مثل منعطفات الشباب. ونقط التلاقي المتوافقة للروافد بالأودية الرئيسية. والمنعطفات المنحوتة كما نجد قيعانها مفروشة دائما بالرواسب النهرية ومع هذا فهناك من الأودية الطباشيرية ما يحيد عن هذه الخصائص، فالأودية التي تقطع الحافات الصخرية، قد نحرتها إلى عمق غير عادي، وتتسم جوانبها بشدة الانحدار وحينما تشاهدها من الجو نراها متسعة لمسالك غريبة بنادة كثيرة

لتعرج ومثالها وادي الديفلر دايك Devil's sliveD قرب برايتون Brightor بجنوب انجلترا

ولقد تعددت الآراء في تفسير أصل وكيفية نشأة هده الأودية الجافة. ولعل الأمر الدي لا خلاف عليه. هو أنها قد نحتت تحت تأثير ظروف خاصة من التصريف المائي لم يعد لها وجود في وقتنا الحاضر ويفسر البعض تكوينها عن طريق الهبوط التدريجي لمستوى الماء الباطني الذي لم تستطع المجاري المائية أن تجاريه ويبدو أن عملية التقويض الينبوعي Spring-Sapping قد لعبت دوراً هاما في نحر هذا النوع من الأودية. ويزخر كثير من هده الأوديه بالينابيع التي. وإن كانت ضعيفة، إلا أن تأثيرها التحاتي لا ينكر ونوجد الينابيع في مجاريها الدنيا على الخصوص يضاف إلى هدا أن نظرية التقويض الينبوعي تقدم أفضل تفسير لشدة انحدار رؤوس الأودية الدي يبدو ناشئا عن عملية التقويض السفلي under-mining، كما تفسر التعرجات الحادة التي تتصف بها مسالك الأودية، والتي تعزى إلى التقويض التراجعي للينابيع على امتداد خطوط ضعف محددة. كالفواصل الرئيسية المتقاطعة

هدا ويشيع وجود الأودية الخانقية الجافة في المناطق التي تتركب من صخور جيرية. ويعزي تكوين بعض منها إلى التعرية السطحية، أثناء جليد الزمن الرابع أو بعده مباشرة. حينما كانت الفواصل بالصخور مملوءة إما بالجليد أو بالصلصال الجلاميدي. ومن ثم كانت الأنهار تجري على السطح. وتظهر هده الأودية كثيرا من صفات التعريه النهرية العادية. وتعترضها « شلالات جافة ». تعبرها المياه المتدفقة عقب سقوط أمطار غزيرة. وتوجد بقيعانها بالوعات ستطيع المياه السريعة الجريان أن تعبرها متجهة إلى أدنى الأوديه. نظراً لأن البالوعات لا يمكن من ابتلاع كل المياه السريعة

التدفق. وهناك أمثلة لأودية تجري بها المياه في صخور جيرية، لكن أحجامها تضمحل بالاتجاه نحو أدانيها، وقد تتلاشى كلية. ومثلها وادي Gordale Beck في إقليم Malham. ومن الأودية ما تجري به المياه في البداية حين يقطع منطقة جيرية. ثم ما يلبث أن يعبرها إلى تكوينات صخرية صماء فيزداد حجمه، وتكثر مياهه.

ويتميز كثير من الأودية الجافة في المناطق الجيرية بقطعه الخانقي. فتبدو الجوانب شديدة الانحدار. ومنها أودية الجبل الأخضر بليبيا كوادي القطارة الذي ينتهي إلى بنغازي، ووادي درنة الذي يصب عند مدينة درنة. وهي وأمثالها قد تكونت أصلا أثناء عصر البلايوستوسين. حينما كانت الأمطار غزيرة، ومنسوب البحر منخفضا، والنحت الرأسي على أشده. ومن الأودية الجافة الخانقية في المناطق الجيرية ما نشأ عن تعرية كهوف باطنية بواسطة مجاري مائية باطنية. تبعها انهيار سقوف تلك الكهوف. وكثيرا ما نجد أقواسا طبيعية تمثل البقية الباقية من تلك السقوف المنهارة. ومن أمثلتها الشهيرة قوس ماربل Marble Arch على نهر كلاداج Cladagh في شمال أيرلندا.

الفصل الخامس

توزيع اليابس والماء

كان يعتقد قديماً أن نسبة مساحة اليابس إلى الماء على سطح الكرة الأرضية هي ١ : ٣ ولكن الاكتشافات القطبية الحديثة، وخاصة في المناطق القطبية الجنوبية قد حسرت النقاب عن وجود أرض يابسة شاسعة المساحة كأرض فيكتوريا Victoria Land وأرض جراهام Graham Land، ولا شك أن إضافة هذه الأراضي الحديثة الاكتشاف إلى اليابس المعروف تقلل الفرق بين نسبة مساحة اليابس والماء. ومع هذا فما تزال مساحة المسطحات المائية تفوق مساحة اليابس بكثير. فبناء على أحدث التقديرات نجد أن نسبة مساحة اليابس إلى الماء على وجه الأرض ١ : ٢,٤٣ أو ٢٩,٢٪ : ٧٠,٨٪، ومجال الخطأ لن يكون كبيراً إذا ما بسطنا تلك النسبة واعتبرناها وحدة مساحية واحدة من اليابس لكل وحدتين ونصف وحدة من الماء.

وقد لعبت مسألة تقسيم سطح الأرض إلى يابس وماء دوراً هاماً عند المشتغلين بدراسة الأرض ونشأتها منذ القدم. فقد اعتقد بعض المفكرين القدامى أن مساحة اليابس يجب أن تفوق مساحة الماء، ما دام الخالق قد صنع الأرض لسكني البشر.

ولقد وضع مركاتور Mercator (١٥٦٩) نظريته المعروفة بنظرية التعادل وهي تتلخص في أن كتل اليابس تتوازن وتتعادل في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي، كما اعتقد أن مساحة اليابس تساوي مساحة الماء على سطح الأرض.

ولقد عاشت نظرية مركاتور نحو قرن من الزمان إلى أن دحضها تاسمان Tasman حين قام برحلاته الاستكشافية (عام ١٦٤٢) فاكتشف تسمانيا (سميت باسمه) ومن بعده كوك Cook الذي اكتشف أراضي قارة أستراليا الواسعة، وبذلك عفى الدهر على نظرية التعادل التي وضعها مركاتور.

وقد قام بعد ذلك الكثير من الباحثين بمحاولات لتقدير وحساب نسبة توزيع اليابس إلى الماء. ومن هؤلاء لونج Long (عام ١٧٤٢) الذي قدر تلك النسبة ب ١ : ٢,٨١ أو ٢٦٪ : ٧٤٪، وفي ذلك الوقت لم تكن المناطق القطبية قد عرفت بعد، وبعد انقضاء نحو قرن من الزمان قام ريجود Regaud بحسابات مشابهة، وانتهى إلى تقدير نسبة مساحة اليابس إلى الماء ب ٢٦,٦٪ : ٧٣,٤٪.

وحين ننظر إلى خريطة لتوزيع اليابس والماء حالياً سنجد أن ذلك التوزيع غير منتظم في نصفي الكرة، ولا يتفق إطلاقاً مع النسبة العامة للمساحات اليابسة والمائية على سطح الأرض. فإلى الشمال من الدائرة الاستوائية نجد أن نسبة المسطحات المائية تبلغ ٦٠,٧٪ وهي دون النسبة العامة للماء التي تبلغ ٧٠,٨٪. أما إلى الجنوب من خط الاستواء فإن نسبة الماء تزداد وتتفوق على النسبة العامة فتصل إلى ٨٠,٩٪.

ولهذا نجد أن ٤٣٪ من بحار العالم ومحيطاته توجد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. بينما يوجد منها ٧٥٪ في النصف الجنوبي. كما نجد أن

نحو ٧٥٪ من يابس العالم يتركز إلى الشمال من خط الاستواء وخاصة حول المحيط المتجمد الشمالي، بينما يوجد منه ٢٥٪ إلى الجنوب من ذلك الخط.

وإذا قسمنا سطح الكرة الأرضية إلى نطاقات يشغل كل منها خمس دوائر عرضية، فإننا نجد أن توزيع اليابس والماء في النطاق الذي يقع بين دائرتي عرض ١٥° و ٢٠° شمالاً يماثل متوسط توزيع اليابس والماء على سطح الأرض. وفي النطاق الذي يقع بين خطي عرض ٢٠° و٧٥° شمالاً نجد أن مساحة الماء أقل بكثير من متوسط التوزيع العام. وفيما بين دائرتي عرض ٤٥° و٧٠° شمالاً تزيد مساحة اليابس على مساحة الماء، إذ لا تصل مساحة المياه في ذلك النطاق إلى نصف مساحته الكلية، ويسود وجود الماء في النطاقات الاستوائية والمدارية إذ يشغل من مساحتها نحو ٧٥٪.

أما إلى الجنوب من دائرة العرض ٣٥° جنوباً حيث ينتهي اليابس الإفريقي والأسترالي، فإن المسطحات المائية تغطي تسعة أعشار المساحة الكلية. وفيما بين دائرتي عرض٥٦° و ٦٠°جنوباً لا نجد سوى الماء. هذا إذا استثنينا مجموعة جزر ساندويتش الجنوبية South Sandwich الصغيرة المساحة.

هذا ويقسم سطح الأرض أيضاً من حيث توزيع اليابس والماء إلى نصفين: غربي وشرقي. في النصف الغربي يشيع وجود الماء إذ تصل نسبته إلى ٨١،٣٪، وفي النصف الشرقي تقل تلك النسبة وتهبط إلى ٦٢،١٪.

من هذا نرى أن أعظم قسم من المسطحات المائية يوجد في غرب الأرض وجنوبها، بينما يتركز أعظم قسم من الكتل اليابسة في شرق الأرض وشمالها.

وهناك محاولة أخرى لتقسيم سطح الكرة الأرضية إلى شطرين: أحدهما

يشتمل على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى « بالنصف القاري » ويقع مركزه حوالى مصب نهر اللوار في غرب فرنسا. وفيه يتركز نحو ٨٣٪ من المساحة الكلية للكتل القارية. أما الثاني فيشتمل على المساحة الكبرى من المياه ويسمى لذلك « بالنصف المائي » ويقع مركزه عند جزر الأنتيبود Antipodes إلى الجنوب الشرقي من نيوزيلندا. وفيه تبلغ نسبة مساحة المياه ٩٠,٥٪.

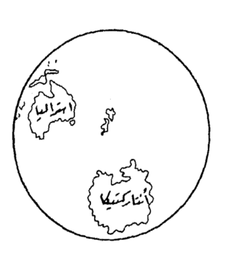
ويمكن اعتبار النصف القاري (شكل ١٧٦) بمثابة دائرة يقع مركزها



شكل (١٧٦) مركز النصف القاري من الكرة الأرضية

على الساحل الفرنسي قرب بلدة كروازيك Croisic عند مصب نهر اللوار. وتقطع خط الصفر الطولي (جرينتش) عند الدائرة العرضية ٤٢° جنوباً بحيث يشمل قارة أفريقيا وجزيرة مدغشقر. ثم تسير حدود الدائرة نحو الشمال الشرقي بين جزر نيكوبار Nicobars وجزيرة سومطرة. وتخترق شبه جزيرة الهند الصينية، وتجري من هونج كونج على طول الساحل الصيني حتى بلدة فوشو Foochow (تطل على شمال مضيق فرمورا)، ثم

تخترق اليابان بحيث تقع مدينة نجازاكي في النصف القاري من الكرة الأرضية ومدينة طوكيو ضمن نصفها المائي. ثم تسير حدود تلك الدائرة بعد ذلك إلى أن تقطع خط طول ١٨٠° غرباً عند دائرة العرض ٤٢° شمالاً، بحيث تقع قارة أمريكا الشمالية والقسم الشمالي من قارة أمريكا الجنوبية داخل حدود الدائرة. وفي هذا النصف الذي ندعوه بالنصف القاري نجد أن مساحة الماء ما تزال تفوق مساحة اليابس إذ تبلغ النسبة بينهما ٥٢,٧٪ : ٤٧,٣٪ ويشمل هذا النصف قارات أوروبا وآسيا وأفريقيا وأمريكا الشمالية والقسم الشمالي من أمريكا الجنوبية، هذا عدا الجزر التي تنتشر في المسطحات المائية التي تتداخل في تلك الكتل القارية وتفصل بينها.



شكل (١٧٧) مركز النصف المائي من الكرة الأرضية.

أما النصف المائي (شكل ١٧٧) فتبلغ فيه مساحة الماء ٩٠,٥٪. بينما تبلغ مساحة اليابس ٩,٥٪ فقط، وتتمثل هذه المساحة اليابسة في قارة أستراليا وجزر أندونيسيا والقسم الجنوبي من قارة أمريكا الجنوبية ثم القارة القطبية

الجنوبية والجزر المنتشرة في المسطحات المائية التي تتبع ذلك النصف المائي من وجه الأرض.

هذا ويقسم اليابس إلى أربعة كتل قارية هي: أوراسيا (أوربا وآسيا) وأفريقيا وأستراليا وكتلة الأمريكتين، ويمكننا أن نضيف إلى ذلك كتلة خامسة تتمثل في القارة القطبية الجنوبية أو قارة أنتاركتيكا Antarctica.

أما المسطحات المائية فتقسم إلى ثلاثة محيطات ضخمة هي: المحيط الهادي والأطلسي والهندي، وتتصل ببعضها بفتحات واسعة. أما المحيط الجنوبي - ويشمل المسطحات المائية من المحيط الهادي والأطلسي والهندي التي تقع إلى الجنوب من دائرة عرض ٦٠° جنوباً - فيرى الكثير من المشتغلين بعلوم البحار عدم فصله عن المحيطات الثلاثة، فهو يعتبر امتداداً لها نحو الجنوب. وأما المحيط المتجمد الشمالي فيمكن اعتباره بحراً لصغر مساحته نسبياً.

من هذا العرض العام الشامل لتوزيع اليابس والماء على سطح الكرة الأرضية تتضح لنا عدة حقائق تسترعي الانتباه وتستدعي التعليل. فتوزيع الكتل القارية والأحواض المحيطية على هذا النحو لم يأت اعتباطاً.

وأولى تلك الحقائق المرتبطة بذلك التوزيع هي تركز معظم اليابس في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، على حين تتركز معظم مساحة الماء في النصف الجنوبي.

أما الحقيقة الثانية فهي ظهور ذلك الشكل القريب من المثلث الذي تتخذه المحيطات والقارات على السواء. وهذا ما نراه أوضح ما يكون في نصف الكرة الغربي، إذ نجد الأمريكتين تكونان مثلثاً ضخماً قاعدته في

المحيط المتجمد الشمالي ورأسه في الجنوب عند رأس هورن Cape Horn ، كما يمكن اعتبار كل من القارتين مثلثاً قائماً بذاته. وفي النصف الشرقي من الكرة الأرضية نجد الشكل المثلثي أيضاً ولكنه يبدو أقل وضوحاً. ويمكن أن نتصور قارات أوراسيا وأفريقيا وأستراليا في شكل مثلثين لها قاعدة واحدة تتمثل في السواحل الشمالية لقارة أوراسيا، أما رأسا المثلثين فتقع إحداهما في تسمانيا والثانية عند الطرف الجنوبي لأفريقيا.

وبالمثل نجد المحيطات تمتد بشكل شبيه بالمثلثات، ولكن بعكس الكتل اليابسة إذ نجد قواعدها في الجنوب ورؤوسها في الشمال. فالمحيط الجنوبي يمثل قاعدة عامة مشتركة لكل المثلثات المحيطيّة إذا استثنينا البحر (أو المحيط) المتجمد الشمالي. ويستدق المحيط الهندي نحو الشمال، وتقع رأس مثلثه في خليج بنغال، ويمكن اعتبار بحر العرب ممثلاً لرأس ثانية له، أما المحيط الأطلسي فلا شك أنه أوسع ما يكون في الجنوب، ولكنه يضيق حوالى خط الاستواء ثم يتسع مرة أخرى. وإذا اعتبرنا حافة ويفل- تمسون Wyville-Thomson ممثلة لحدود المحيط الأطلسي الشمالية، فإن رأس ذلك المحيط تقع حينئذ إلى الشرق من جزيرة جرينلندا. وعلى الرغم من أن المحيط الهادي يبلغ أقصى اتساعه في قسمه الأوسط إلا أنه يضيق شمالاً عند جزر ألوشيان Aleutian .

والحقيقة الثالثة تتمثل في إحاطة كتل اليابس للمحيط أو البحر القطبي الشمالي في شكل حلقة تكاد تكون مستمرة، إذ أنه من الممكن التغاضي عن الفتحة المائية الضيقة التي يشغلها مضيق أو بحر بيرنج Behring . أما المسطح المائي الواسع الذي يفصل قارتي أوروبا وأمريكا الشمالية عن بعضها (وهو شمال المحيط الأطلسي) فإنه يتضاءل إذا ما نظرنا إلى حافة ويفل- تومسون » الغائصة، واعتبرناها قنطرة وصل بين هاتين

القارتين. وعلى النقيض من تلك الحلقة اليابسة التي تحيط بالقطب الشمالي تقع قارة أنتار كتيكا في موقع منعزل تماماً، يفصلها المسطح المائي العظيم الذي يشغله المحيط الجنوبي.

أما الحقيقة الرابعة فهي تقابل اليابس والماء، إذ نجد تقريباً أن كل جزء من اليابس، صغر أم كبر، يقابله مسطح مائي على الجانب المقابل من الكرة الأرضية. وهناك حالتان فقط تشذان عن هذه القاعدة: الأولى تتمثل في كتلة بتاجونيا (جنوب الأرجنتين) التي تقابل قسماً يابساً من شمال الصين، والثانية هي اليابس النيوزيلندي الذي يواجه قسماً من شبه جزيرة أيبريا.

والحقيقة الأخيرة تتمثل في ذلك الحوض العظيم الذي تشغله مياه المحيط الهادي والذي يمثل نحو ثلث مساحة الكرة الأرضية. فهو في الواقع يمثل ظاهرة فريدة على وجه الأرض، كما أنه يتميز عن غيره من المحيطات بأنه محاط بسلاسل من المرتفعات الحديثة، هذا إذا اعتبرنا حده الغربي ممثلاً في أقواس الجزر لا في الساحل الشرقي لآسيا.

ولقد أثارت هذه الحقائق وغيرها الكثير من التفكير والتأمل لدى الباحثين محاولين تفسيرها بطرق شتى، وهي التي أدت إلى ظهور النظرية التتراهيدية Tetrahedral Theory أو نظرية الهرم الثلاثي الشهيرة للأستاذ لوثيان جرين Lowthian Green . وعلى الرغم من أن تلك النظرية لا تجد الآن سوى القليل من المؤيدين لها، إلا أننا نجد أنه من المفيد هنا أن نعرض لجوانبها الرئيسية، إذ أنها تتناول بالتفسير بعض نواحي هامة في تضاريس قشرة الأرض.

ولقد بنى لوثيان جرين نظريته على أساس حقيقتين هندسيتين هما:

١ - أن الشكل الكروي يتمثل في أعظم حجم لأقل مساحة سطحية.

٢- أن الهرم الثلاثي هو الجسم الذي يحتوي على أصغر حجم لأكبر مساحة سطحية.

وبعد أن أجرى لوثيان جرين عدة تجارب رياضية، توصل إلى أنه من الممكن لكرة أن تتقلص وتتخذ شكل هرم ثلاثي لو تعرضت جميع أجزاء سطحها لضغوط متساوية. ثم بدأ بتطبيق ذلك على الكرة الأرضية؛ فاعتقد أن القوى التي تعمل على انكماش كوكبنا الكروي، والتي تتمثل على الخصوص في فقدانه للحرارة، تؤدي إلى أن يميل إلى اتخاذ شكل الهرم الثلاثي. معنى ذلك تحول في الشكل الهندسي الكروي الذي تتمثّل فيه أقل مساحة سطحية لحجم معين تجاه هرم ثلاثي تتمثل فيه أكبر مساحة سطحية لذلك الحجم؛ وهو الحجم الذي تغير إذ صغر بالإنكماش بينما بقيت المساحة السطحية ثابتة. ولا شك أن الأرض لم يكن باستطاعتها اتخاذ شكل هرم ثلاثي منتظم نظراً لتباين بنيتها وتركيبها. وفي الهرم الثلاثي يقابل كل وجه فيه أحد رؤوسه، وفي الأرض يقابل المحيط كتلة من اليابس.



شكل (١٧٨) توزيع اليابس والماء- حسب النظرية التتراهيدية.

وبتطبيق تلك النظرية على الأرض نجد أن المحيطات تحتل أوجه الهرم الثلاثي، بينما تحتل الكتل القارية رؤوسه (شكل ١٧٨). ففي النصف الشمالي من الكرة الأرضية نجد ثلاث كتل يابسة سحيقة في القدم قد نمت حولها القارات الحالية هي الكتلة اللورنسية والبلطية والسيبيرية، وهي التي تحتل- في رأي صاحب النظرية- رؤوس الهرم الثلاثي الثلاثة الشمالية، هذا إذا ما قام الهرم الثلاثي على إحدى رؤوسه وهي الرأس الرابعة التي تقع عندها قارة أنتا كتيكا. أما حواف الهرم الثلاثي فتمتد على طولها الكتل القارية الضخمة ذات الامتداد الطولي، ويتمثل هذا أصدق تمثيل في الأمريكتين، كما يتضح أيضاً في قارة أفريقية وجنوب شرقي آسيا مع قارة أستراليا وجزيرة تسمانيا.

وتعتبر هذه النظرية إحدى النظريات التي يمكن أن نسميها بالنظريات الهندسية. وقد سبقتها محاولة لإيلي دي بومونت Elie de Beamont الذي رأى في نظم المرتفعات التي عرفها توزيعاً يشابه في هيئته الشكل ذا الأسطح الاثني عشر، وتلتها نظرية أخرى لكوبر Kober الذي افترض شكلاً مثمن الأسطح غير منتظم لترتيب المعالم الرئيسية لسطح الأرض.

ونظرية لوثيان جرين هي أشهر هذه النظريات جميعاً، وقد تلقفها جريجوري Gregory وتناولها بالتعديل والتوسيع. وقبل أن نعرض للتعديلات التي قام بها جريجوري ينبغي أن نشير إلى أن النظرية التتراهيدية كما وضعها مؤلفها لا تستطيع أن تقف صامدة أمام النقد والاعتراض، فإن سرعة دوران الأرض كفيلة بإعادة التوازن، وإيقاف أي ميل لتحول الكرة الأرضية إلى شكل الهرم الثلاثي، كما وأنه لا يشترط بالضرورة أن تتحول الكرة إلى هرم ثلاثي حينما تبرد وتنكمش خصوصاً إذا ما كان لتلك الكرة ما للأرض من تركيب شديد التعقيد. ويبدو أن قيمة النظرية لا تتمثل فيها

بمقدار ما تتمثل في المناقشات التي أثارتها ودارت وما تزال تدور حولها.

وقد قام الكثير من الباحثين بمحاولات لتصور ما كان عليه توزيع اليابس والماء في العصور الجيولوجية القديمة، ورسموا الخرائط لتوضيح الخطوط الرئيسية لما كان عليه العالم حينئذ. ويتبين من تلك الخرائط أن توزيع اليابس والماء أثناء العصر الكامبري كان يشبه في خطوطه الكبرى مثيله في الوقت الحاضر، وطبيعي أن الاختلاف عظيم في التفاصيل. ويبدو أنه كانت توجد قارة شمالية عظيمة المساحة كان طرفها يستدق نحو الجنوب، وتدل الرواسب البحرية على أنه كان يوجد محيط قطبي شمالي يحتمل أنه كان يقع إلى الشرق نوعاً من موقع المحيط الحالي. وتفترض النظرية التتراهيدية أن التغيرات التي تحدث في ترتيب اليابس والماء نتيجة لانكماش الأرض ينبغي أن تتبع امتدادين رئيسيين: أحدهما في اتجاه طولي مع خطوط الطول، ينبغي أن تتوزع عليه كتل القارات، والآخر في اتجاه عرضي يتفق مع دوائر العرض المتوازية تنتشر عليه الأحواض المحيطية.

ويرى جريجوري أن تقلص الأرض وانكماش باطنها بسبب فقدانه للحرارة لا يعني أي تغير في مواقع حواف الهرم الثلاثي الرأسية، إذ ينبغي - في رأيه - أن تظل ثابتة، ولكن حوافه الثلاثة التي تقع حول المنخفض القطبي يمكن أن تنمو أحياناً. وحينما نتتبع توزيع اليابس والماء فيما بعد العصر الكامبري نجد أن قارة «أمريكا الشمالية» التي كانت موجودة في ذلك العصر قد اختفت في العصر السيلوري حسب ما يرى بيلي ويليس Balley Willis. ويتضح من الخرائط التي رسمها فريش Frech أنه قد حدث انقلاب تام في توزيع اليابس والماء بين نصفي الكرة في ذلك العصر بالنسبة لما كان عليه في العصر الكامبري ولما هو عليه في العصر الحالي. بحيث أصبحت هناك قارة قطبية شمالية تقابل محيطاً قطبياً أنتار كيتيكيا

في الجنوب. وقد تناول جريجوري توزيعات فريش لليابس والماء أثناء عصور النصف الأول من الزمن الجيولوجي الأول بشيء من التعديل، وخاصة توزيع القارات والمحيطات في عصر الأردوفيس. مثال ذلك أنه رأى أن تمتد الحدود الجنوبية لقارة «أمريكا الجنوبية» كما رسمها فريش نحو الشرق ونحو الغرب، كما اعتقد أنه كانت توجد مساحة قارية واسعة تحتل مكان اليابس الذي نسميه «منشوريا» حالياً، وأن تلك المساحة كانت متصلة بكتلة قارية يمثلها القسم الشمالي من قارة أستراليا في الوقت الحاضر. وإذا كان هذا صحيحاً فإن تلك الكتلة القارية كانت تقابل حينئذ جنوب المحيط الأطلسي.

وإذا كان في الإمكان قبول مثل تلك التوزيعات لليابس والماء في تلك العصور الجيولوجية السحيقة في القدم، فإن الترتيب التراهيدي لتضاريس المرتبة الأولى للأرض يبدو مقبولاً، ولكن الهرم الثلاثي وقتئذ كان مقلوباً بمقارنته بالعصر الحالي.

وقد تغير الوضع في أواخر الزمن الأول عما كان عليه في العصر السيلوري، إذ يقال أنه قد نشأت حينئذ قارة جنوبية ضخمة هي قارة جندوانا Gondwana كانت تشغل قسماً كبيراً من النصف الجنوبي للأرض.

ويعتقد أن هذه القارة لم تكن على اتصال بقارة «أمريكا الشمالية» التي عادت وظهرت في الوجود في أواخر الزمن الأول. ولكن يبدو أن قارة جندوانا كانت تمتد في شكل لسان شبه جزري نحو الشمال فيما بين أفريقيا والهند إلى ما يسمى الآن بشرق أوروبا، وكانت توجد كتلة قارية أخرى تمتد صوب الجنوب من المناطق القطبية الشمالية عبر الصين إلى شمال أستراليا، كما كانت تمتد كتلة يابسة ثالثة في شمال المحيط الأطلسي من الجزر

البريطانية إلى كتلة اسكنديناوه. وعلى مر الزمن كانت تهبط أجزاء من تلك الكتل القارية وتطغي عليها مياه البحر فتختفي، إلى أن وصل توزيع اليابس والماء إلى النظام الذي نراه عليه في العصر الحالي.

ولا شك أن مناقشة تلك الآراء وأمثالها التي تتناول التغيرات التي أصابت بناء قشرة الأرض فيها كثير من الطرافة، ولكن ثمة توزيع اليابس والماء أو تقدير لأبعاد كل منها لا يمكن الجزم بصحته أو قبول إمكان وجوده في عصر ما. ولقد غزت نظرية زحزحة القارات عالم الجيولوجيا في عهدنا الحالي، ومع ذلك لا يمكن قبول أي نوع من الزحزحة إلا باعتباره نظرياً لا يرقى لمرتبة القانون. وإذا جاز قبول مبدأ الزحزحة فإنه لا حاجة حينئذ إلى مزيد من تطوير وتعديل معتقدات النظرية التتراهيدية، ومع هذا فإن إمكانية زحزحة القارات تواجه صعوبات جمة كما سنرى فيما بعد.



الفصل السادس

تفسيرُ نشأة الظاهرات الكبرى لسطح الأرض

(النظريات الجيوتكتونيّة)

لقد اعتقد بعض الجيولوجيين بثبات القارات والمحيطات، ولكن الكثيرين منهم يؤمنون بتحركها وعدم ثباتها. وهناك نظريات عديدة تتناول هذا الموضوع بالدراسة والتحليل، بعضها قديم تناوله الباحثون بالتعديل والتحوير، وبعضها الآخر حديث. ولعله من المفيد هنا وقد درسنا تكوين المرتفعات وتوزيع اليابس والماء، أن نعرض لبعض تلك النظريات والآراء التي تعيننا على تفهم التطور الذي عاناه سطح الأرض أثناء تاريخه الطويل.

ويرجع السبب في استمرار ظهور نظريات جديدة إلى قصور سوالفها عن تفسير ظاهرة أو أخرى من ظاهرات سطح الأرض. فنظرية الانكماش التي ترجع تجعد قشرة الأرض إلى برودة الباطن تعتبر الآن غير كافية لتفسير كثير من أشكال التضاريس الكبرى التي نراها في الوقت الحاضر. ونحن لا نشك في أن المرتفعات العظيمة قد نشأت عن ضغوط غاية في القوة، فقد قدر كايث Keith مقدار الانكماش الذي حدث في قشرة الأرض لتنشأ مرتفعات الأبلاش بنحو ٣٢٠ كيلومتراً، كما قدر ألبرت هايم A. Heim

وآخرون مقدار اقتضاب القشرة لتتكون مرتفعات الألب بنحو ٣٠٠ كم، وهو تقدير فيه الكثير من التحفظ. وكلما ازدادت معرفة العلماء ببناء تلك المرتفعات كلما ارتفعت أرقام تلك التقديرات وأمثالها. فقشرة الأرض إذن قد عانت الكثير من التقلص والإنضغاط حين تغضها لتنشأ المرتفعات.

فهل نظرية الانكماش كافية لتفسير ذلك، أم ينبغي أن نفترض حدوث حركة أو حركات معينة بين القارات ساهمت في رفع قشرة الأرض هنا وهناك؟

وعدا هذا تبرز مشكلات تختص بتوزيع النبات والحيوان. فهناك فصائل حيوية معينة يتكرر وجودها في مناطق تبعد عن بعضها بعداً شاسعاً. فكيف تأتي لها أن تنتشر في تلك المناطق المتباعدة؟ هل كانت تلك المناطق متصلة ببعضها بواسطة يابس هبط فغمرته مياه المحيطات واختفى تحت سطحها، أم كانت تلك المناطق ملتحمة متلاصقة ثم انفصلت وتزحزحت بعيداً عنها؟

وهناك أيضاً مشاكل ترتبط بتوزيع مخلفات العصر الجليدي الذي حدث في أواخر العصر الفحمي. فقد عثر على تلك المخلفات في قارة أستراليا وفي الهند، وفي وسط وشمال قارة آسيا، وفي القسم الجنوبي من قارة أفريقيا، وفي جزر فالك لاند Falkland، وفي أمريكا الجنوبية. وتدل الشواهد على أن الجليد في ذلك العصر قد انتشر في بعض المناطق من مصدر جنوبي، كما وأن الرواسب الجليدية في كل القارات الجنوبية متشابهة إلى حد كبير، وتحوي جميعاً أنواعاً نباتية قديمة تعرف باسم جلوسوبتريس Glossopteris. وكل هذه المناطق تبعد الآن بعداً شاسعاً عن القطب الجنوبي، ولهذا كان من الصعب على نظرية الانكماش أن تقدم تفسيراً منطقياً لأسباب توزيع تلك

الظاهرات. ومع هذا فنحن إذا ما افترضنا وجود معابر برية كانت تصل بين الكتل القارية، فإن اليابس حينذاك كان ينبغي أن يكون بالغ الاتساع، وبالتالي كان الجليد غاية في الانتشار، وأعظم بكثير جداً من جليد عصر البلايوستوسين.

ولقد حاول فيجر Wegener في نظريته «زحزحة القارات» أن يحشد كل هذه الكتل القارية حول جنوب أفريقيا، وادعى بأن القطب الجنوبي في أثناء العصرين الفحمي والبرمي كان يقع في مكان ما في منطقة ناتال Natal الحالية. ولم تسهم نظرية فيجنر بالحل الوافي للمشكلة، ولكنها أثارت الكثير من النقاش والجدال مما أدى بباحث آخر هو هولمز Holmes أن يتقدم بنظرية جديدة على أساس إمكان تزحزح القارات محاولاً تذليل مختلف الصعوبات التي واجهت نظرية فيجنر. ورغم هذا فقد ظل توزيع جليد العصر الفحمي لغزاً كبيراً يستدعي الحل المقنع، إذ أن الاعتراضات التي سقيت ضد نظريات التزحزح التي حاولت تفسير ذلك اللغز من القوة بحيث يمكن أن تهدم تلك النظريات باعتبارها غير وافية بأشكالها الحالية، ومع هذا فإنه ليس لدى مؤيدي نظرية الانكماش مقترحات أفضل.

ونحن إذا أخذنا بالرأي القائل بثبات القارات وأنكرنا عليها إمكانية الحركة والزحزحة، واعتقدنا بوجود معابر برية Land-bridges كانت تحتل مكان الأحواض المحيطية وتصل بين الكتل القارية، فإننا سنواجه صعوبات أخرى كبيرة، إذ كيف ولماذا اختفت تلك المعابر البرية؟ هناك من يعتقد أن تفسير اختفاء كتل قارية أو معابر برية عن طريق الهبوط أمر مستحيل، هذا إذا أخذنا بتعاليم نظرية التوازن Isostasy. فإذا كانت القارات- ومنها المعابر البرية- تتكون من مادة السيال Sial، وإذا كان قاع المحيط والأساس الذي ترتكز عليه القارات يتركبان من مادة السيما

Sima، فإنه لا يبدو ممكناً أن تتعمق كتل اليابس إلسيالية الخفيفة في الأساس السياوي الكثيف أكثر مما يمكن للجليد أن يغوص في الماء. ومع هذا فإن أحداً لا يشك في أن هناك عيوب وانكسارات ضخمة قد أصابت قشرة الأرض فهبطت أجزاء منها على طول امتداداتها مئات عديدة من الأمتار. فإذا ما اعتبرنا تلك الانكسارات الضخمة فإنه ليبدو أن الأمر قد لا يكون بعيداً عن الصواب إذا ما افترضنا إختفاء قارة أو كتلة يابسة عن طريق الهبوط والإغراق. وقد تكون المفاهيم النظرية للتوازن صحيحة، ولكننا لا نعتقد أن مسألة توازن قشرة الأرض قد بلغت درجة من الاتقان يستحيل معها إمكان هبوط المعابر البرية. ولقد أقام كل من « جيفريز » و « هولمز » أكثر من دليل وشاهد على غرق المعابر البرية.

وغير هذا هناك براهين أخرى تعزز الرأي القائل بتقارب الكتل اليابسة أو التصاقها ببعضها في الأحقاب الغابرة. وهي تستند إلى التماثل في التكوين الصخري القاري على جانبي المحيط. والمثال التقليدي لذلك هو أن التركيب الصخري على جانبي المحيط الأطلسي الجنوبي في قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية متماثل إلى حد كبير. ولقد استغل فيجنر تلك الحقيقة واعتبرها خير برهان على اتصال سالف بين القارتين. وعلى الرغم من أن دي توات Du Toit قد ساند هذا الرأي إلا أنه لا يميل إلى الأخذ به برمته، فهو يعتقد أن القارتين كانتا مقتربتين من بعضهما لكن كانت تفصل بينهما مسافة تتراوح بين ٤٠٠ و٨٠٠ كيلومتر. وهنا ينبغي لنا أن نتساءل هل يصح تفسير مثل هذا التشابه في التكوين الصخري والمعدني عن طريق الزحزحة وحدها؟ وهل يستحيل وجود التشابه في التكوينات الجيولوجية في المناطق القصية عن بعضها؟.

من هذا يتضح لنا أن هناك الكثير من الأسباب البيِّنة للخلافات

العميقة بين المؤيدين لمختلف النظريات، ولهذا فإننا لا نعجب حين نرى توالي ظهور نظريات جديدة كل منها تحاول تذليل العقبات التي واجهت سوالفها. وهناك نظريات أقيمت على أسس واهية، وأخرى- سنحاول مناقشة بعضها – تقوم على افتراضات معقولة، ولكنها أيضاً عادة ما تتعرض للهجوم من جانب أو أكثر من جوانبها. ومع هذا فالنقد الذي تثيره نظرية أو أخرى، والنقاش الذي يعقب نشرها قد فعلا الكثير في تزويد معلوماتنا وتعميقها عن بناء الأرض وتطوير أفكارنا عن تاريخ سطحها.

وسنستهل دراستنا لمختلف النظريات بعرض سريع لنظرية الكويكبات ونركز على جوانبها الجيولوجية. ثم نناقش نظرية الأحواض الداخلية لكوبر Kober التي قد لا تعتبر جديدة في بابها، إذ أنها خليط من آراء قديمة وأخرى جديدة تخص صاحب النظرية، كما أنها تُرجع تكوين المرتفعات إلى قوى الإنكماش. يلي ذلك دراسة لنظرية الانكماش كما يراها ويفسرها جيفريز. وسنعني بعد ذلك عناية خاصة بدراسة نظريات الزحزحة التي تؤمن عموماً بإمكانية تحرك القارات، وهي تقوم على افتراضات وأسس متباينة. فنظرية فيجنر تؤمن بالقوى التي تسبب تحرك القارات نحو الغرب ونحو خط الاستواء، ونظرية جولي Joly تقوم على أساس النشاط الإشعاعي، أما نظرية ديلي Daly فتعتقد بانزلاق القارات بفعل قوة الجاذبية، ونظرية هولمز Holmes تستند إلى قوى التيارات التصاعدية في الطبقات السفلى من الأرض.

١- نظرية الكويكبات

لقد سبق أن عرضنا بعض جوانبها في الفصل الأول من هذا الكتاب. ويهمنا هنا أن نناقش جوانبها الأخرى التي تعني بتفسير الظاهرات الرئيسية لسطح الأرض.

يعتقد تشمبرلين- صاحب النظرية- أن الأرض قد أخذت في النمو البطيء من مرحلة النواة الأولى التي كانت تمثل قسماً صغيراً من حجمها الحالي. وكانت النواة ذات كثافة مرتفعة وتتركب من كتلة تكونت من أجرام صغيرة أو كويكبات التصقت ببعضها بواسطة قوى جذبها المتبادل. ثم استطاعت النواة بمرور الزمن أن تجذب إليها كويكبات أخرى حتى وصل كوكب الأرض إلى حجمه الحالي تقريباً.

وحينما كانت الأرض صغيرة الحجم لم يكن هناك غلاف جوي يحيط بها، ولكن عندما كبر حجمها استطاعت أن تأسر وتحتفظ بالغازات الجوية حولها وتفترض النظرية مصدرين لنشأة الغلاف الجوي أحدهما خارجي والآخر باطني. فعندما كبر حجم الأرض تمكنت من جذب جزئيات الغازات الطليقة والاحتفاظ بها. أما المصدر الباطني فيتمثل في الغازات التي تصاعدت من البراكين، وهي الغازات التي كانت أصلاً تحويها الكويكبات التي جذبتها النواة وأصبحت قسماً من جسم الأرض. وقد كان باطن الأرض منبعاً لبخار الماء وثاني أوكسيد الكربون والنيتروجين، أما المصدر الخارجي فقد ساهم في تكوين جميع عناصر الغلاف الجوي الأصلي تقريباً. ولم يثبت بعد ما إذا كان الأوكسيجين الذي يتطاير الآن من البراكين أصيلاً في باطن الأرض أم أنه دخيل عليها من السطح، ويحتمل أنه مشتق من اختزال أكاسيد الحديد.

ولما كانت هذه النظرية تعتقد بأن قسماً عظيماً من الغازات الجوية قد نشأ عن طريق الانبثاق من البراكين، فإنه من المهم أن نعرف كيف نشأت الحرارة الكافية لتفجير البراكين ومن ثم دفع الغازات من الباطن إلى السطح، خصوصاً أن النظرية تفترض أن الأرض كانت تنمو نمواً بطيئاً، وأن باطنها لم يكن في حالة انصهار وبالتالي لا يعول عليه كمصدر للقدر اللازم من الحرارة لبعث النشاط البركاني. ويعتقد واضع النظرية أن الحرارة قد نشأت بالوسائل الآتية:

١ - تصادم الكويكبات بالنواة: ويحتمل أن هذا كان كافياً في البداية لرفع حرارة النواة حينما كثر ورود الكويكبات وتساقطها.

٢ - الضغط المركزي: ويعتبر الضغط في نظر تشمبرلين هو المصدر الرئيسي لتوليد الحرارة، وبالتالي كانت الحرارة تزداد في الباطن نتيجة لازدياد تراكم الكويكبات على النواة.

٣ - إعادة التنظيم الجزيئي لمكونات المعادن والصخور التي تتركب منها النواة: وكان هذا يحدث كيماوياً أو نتيجة لإعادة ترتيب وضبط الجزيئيات تحت تأثير الضغط. فبفعل الضغط المتزايد على الباطن كان من الممكن - ولو نظرياً كما يقول تشمبرلين - أن تنشأ نظم جزيئية جديدة أكثر كثافة وذات حرارة نوعية منخفضة، فيؤدي ذلك إلى إطلاق كميات من الحرارة.

ولما كان السبب الرئيسي للحرارة الباطنية يرجع إلى عامل الضغط، فإنه يستتبع أن تكون درجات الحرارة أعظم ما تكون في داخلية الأرض، ثم تتناقص بالتدريج نحو ظاهرها، وقد قدر تشمبرلين مقدار الحرارة عند مركز الأرض بنحو ٢٠٠٠٠°م. وبسبب عظم ارتفاع الحرارة في باطن الأرض تصاعد قسم منها إلى نطاقات تميزت بضغط أخف. وبالتالي بدرجات

انصهار أقل، ترتب على هذا أن وصلت مواد بعض أجزاء من الأرض إلى درجة الإنصهار قبل غيرها، هذا بافتراض أن مواد الباطن التي تتركب من خليط من الكويكبات كانت تتباين في درجات انصهارها. ومن ثم فقد نشأت مناطق انصهار محلية ما لبثت أن اتصلت واتحدت مع بعضها، وأخذت تتدافع وتتحرك نحو السطح أي في الاتجاه الذي تميز بأقل ضغط ومقاومة. وهذا لا يعني بالضرورة أن كتل الصهير قد وصلت بالفعل إلى السطح في هيئة براكين في المراحل الأولى من نمو الأرض، ولكن تسربها تجاه السطح قد أدى إلى رفع حرارة الأجزاء الخارجية من الأرض ومهد الطرق لانبثاق المواد المنصهرة إلى السطح.

وتقول النظرية بأن وجه الأرض في مراحل النمو الأولى كان خشناً وعراً مفككاً مفتوحاً، إذ كان يتألف من الكويكبات المتساقطة، وكانت الفتحات والثغرات بين كتل الكويكبات شاغرة خاوية، إذ لم يكن الغلاف المائي قد تكون بعد بحيث يشغل تلك الثغرات. ثم أخذت قشرة الأرض المهلهلة تلتحم ببعضها تدريجياً وتنضغط وتتماسك بفعل الجاذبية المركزية. ولم تكن كتل الصهير تجد صعوبة في شق طريقها إلى السطح، وقد استقر بعضها في نطاق الغلاف الصخري مكوناً للمخازن الصخرية (لاكوليت، باتوليت) والسدود الرأسية والأفقية. أما المواد المتطايرة التي كانت تحويها كتل الصهير فقد شقت طريقها إلى ظاهر الأرض، وتسببت في إحداث انفجارات نشأ عنها تكوين حفر انفجارية وفوهات بركانية تشبه ما نراه الآن على سطح القمر.

ويرى تشمبرلين أن المحيطات قد بدأت في التكوين حينما عظمت كميات بخار الماء في الغلاف الجوي ووصلت إلى درجة التشبع فأخذت تتكاثف وتتساقط على الأرض، كما يفترض أن التكاثف قد حدث أيضاً في قشرة

الأرض الخارجية المسامية المفككة. وقد كانت الأرض تتشرب المياه إلى أن وصلت إلى حد أخذت المياه عنده تظهر بالتدريج على سطح الأرض، وتتجمع في فجوات هي على الخصوص تلك الحفر التي أنشأها النشاط البركاني. وكانت تلك الفجوات تبدو في شكل عدد هائل من البحيرات الصغيرة المنفصلة، ثم أخذت تمتد وتتسع بالتدريج إلى أن اتصلت ببعضها مكونة لمحيطات ابتدائية.

أما التطور الذي مر به تكوين الأحواض المحيطية والكتل القارية بعد ذلك فيعزوه واضع النظرية في بعض أسبابه إلى عمليات التجوية والتعرية المائية. فالمياه حين تؤثر في تكوينات الأرض تذيب من موادها القاعدية أكثر مما تذيب من موادها الحامضية، وتجري المياه صوب المحيط حاملة تلك المواد المذابة التي قد يظل قسم منها في هيئة محلول أو قد تترسب جميعها فوق قاعه. ونتيجة لذلك تزداد قاعدية أجزاء الأرض الغارقة أي قيعان المحيطات كما يزداد وزنها النوعي. وقد ابتدأ فعل وتأثير هذه العمليات حالما ظهر الغلاف المائي وغمرت المياه الأجزاء المنخفضة من سطح الأرض. واستمرت تلك العمليات دائبة في تأثيرها إلى أن أصبحت الكتل اليابسة أخفّ من المساحات الغارقة نتيجة لعمليات الغسل في تكوينات الكتل القارية، بالإضافة إلى نحت تكوينات اليابس ونقلها لتتراكم فوق قيعان المحيطات. وقد عمل ثقل المياه نفسها على ضغط قيعان الأجزاء التي تجمعت فيها فازداد انخفاضها واتساعها، وبالتالي استطاعت أن تجذب مزيداً من المياه من الأجزاء المرتفعة (اليابسة) من قشرة الأرض. وحينما كانت الأرض تنمو وتكبر بإضافة مزيد من الكويكبات إليها، كانت الأحواض المحيطية تزداد اتساعاً وعمقاً. ويرى تشمبرلين أنه من المحتمل أن التوزيع الحالي لليابس والماء لم

يحدده قانون معين، فقد بدأ كما رأينا باختلافات يسيرة كانت كافية لمنح الغلبة للماء على اليابس عن طريق الاختيار الذاتي للعمليات المشار إليها.

وخلال فترة النمو الطويلة التي مرت بها الأرض كان الضغط يزداد على باطنها نتيجة لورود مزيد من الكويكبات، وكانت حرارتها لذلك في ارتفاع مستمر. ومن ثم فقد ازداد النشاط البركاني وساد أيضاً أثناء تكوين الكتل الأركية العظيمة التي تتركب من صخور نارية ومتحولة، والتي تتميز بتعدد تداخل كتل الصهير، إذ يكثر فيها وجود السدود الرأسية والأفقية والمخازن الصخرية. وتتميز الفترة التي تكونت خلالها تلك النطاقات الأركية باضطرابات أرضية عنيفة أحدثت فيها الكثير من الالتواء والانكسار، وحينما انتهت مرحلة وصول الكويكبات ومرحلة شيوع النشاط البركاني، دخلت الأرض مرحلة جديدة من تاريخها يعني بدراستها علم الطبقات الجيولوجية Stratigraphy، وهي المرحلة التي أصبح خلالها كلا الغلافين الجوي والمائي في الأهمية التي نراها في الوقت الحاضر.

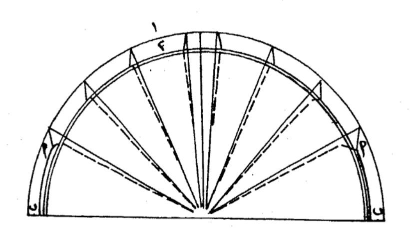
من هذا العرض العام للعوامل الأساسية التي أثرت في نشوء الأرض وتطورها، يتضح لنا أن تشمبرلين قد التجأ إلى وسائل معينة فسر بها عملية تشكيل سطح الأرض، فلقد مرت الأرض في بنائها خلال ثلاث مراحل من تاريخها هي:

١ - مرحلة وصول الكويكبات.

٢ - مرحلة شيوع النشاط البركاني.

٣ - المرحلة الجيولوجية الاستراتيجرافية كما تشاهد بواسطة الطبقات الصخرية الظاهرة الآن على وجه الأرض. ويحتمل أن تلك المراحل الثلاث قد تدرجت إحداها في الأخرى بشكل انتقالي غير محسوس.

هذا ويرى تشمبرلين أنه من الممكن اعتبار أن الأرض تتركب من قطاعات Sectors أو أسافين Wedges تحتل قواعدها قيعان المحيطات والقارات، أما رؤوسها فتقع عند مركز الأرض (شكل ١٧٩). وهو يفسر حركات الرفع والالتواء التي تنشىء سلاسل المرتفعات، والحركات الرأسية وحركات الشد التي ينشأ عنها تكوين الجبال القبابية والانكسارية والأودية الأخدودية، عن طريق تقلص وهبوط هذه القطاعات أو الأسافين. وتهبط القطاعات المحيطية (أي التي تقع في أسفل المحيطات) أولاً نظراً لأن ثقلها النوعي أكبر من غيرها. وينشأ عن ذلك أن تتعرض المناطق الضعيفة- وهي التي تقع على حواف القارات- لضغوط شديدة فترتفع. أما المناطق الأخرى التي تتعرض للضغط الشديد الناشىء عن هبوط الأسافين المحيطية



شكل رقم (١٧٩)
تركيب الأرض في شكل قطاعات حسب ما يرى تشمبرلين.
١ = سطح الأرض قبل تشكيله.
٢ = سطح الأرض بعد تشكيله.
البعد الرأسي بين ١ و٢ مبالغ فيه.
أ ب، أ ب = قطاعان قاريان.
القطاعات المحصورة بين أ وأ وعددها في الرسم ثمانية هي قطاعات محيطية.

فهي في رأي تشمبرلين تلك الأحواض القارية المنخفضة التي تمتلىء بالتكوينات الرسوبية لعمق كبير، وكذلك نطاقات الالتواءات القديمة باعتبارها مناطق ضعف في قشرة الأرض.

وقد هوجمت نظرية الكويكبات هجوماً عنيفاً. فقد انتقدها جيفريز واعتبرها قاصرة لا تفي بتفسير ظاهرات سطح الأرض. وقسم من نقده ينصب على المراحل الأولى في تاريخ الأرض. فهو لا يقبل الإفتراض الخاص بنمو نواة الأرض عن طريق وصول الكويكبات إليها واصطدامها بها للأسباب الآتية:

١- أنه يبدو أن الكويكبات كانت تتحول إلى الحالة الغازية بسبب الاصطدام المتبادل بينها.

٢- أن تحول الكويكبات إلى الحالة الغازية كان يتم قبل أن تسنح لها الفرصة للتأثير على مدار الأرض الذي تفترض النظرية أنه كان شديد الانحراف وأن ازدياد نموها عن طريق وصول الكويكبات كان يقرب مدارها أكثر فأكثر إلى الاستدارة.

ويستتبع هذا وذاك أن الأرض لا يمكن أن تكون قد ازدادت في الحجم ازدياداً ملحوظاً منذ نشأتها، وإذا صحت هذه الاعتراضات فإن النظرية تبطل شكلاً وموضوعاً.

وقد سيق الكثير من النقد والاعتراض على آراء تشمبرلين الخاصة بتكوين الجبال على أساس أن قوى الضغط التي تسمح بها النظرية غير كافية، وعدا هذا يرى جيفريز أنه يستحيل الاعتماد على ما جاء بهذه النظرية فيما يختص بتكوين الغلاف الجوي، لأن النواة الأصلية للأرض التي يفترضها تشمبرلين لم

يكن بقدرتها الاحتفاظ بغلاف جوي. ولأن أية غازات كانت تمتصها أو تحويها النواة كانت تظل فيها ولا تستطيع الخروج منها إذ أنها تنطمر تحت سمك كبير من تكوينات الكويكبات المتساقطة، ويرى جيفريز أن الكويكبات ذاتها لم تجلب للأرض شيئاً من المواد المتطايرة مثلها في ذلك مثل النيازك الحالية، فهي قاحلة لا غازات فيها.

٢- نظرية الأحواض البحرية الداخلية لكوبر

يعتبر كوبر من المؤيدين لنظرية الانكماش، وهو يعتقد أن انكماش الأرض- بسبب تبريد باطنها- دائم بدرجات متفاوتة منذ فجر تاريخها، وتتركز دراسته الرئيسية على الصلة بين الكتل الصلبة القديمة من الأرض ومناطق الحركة فيها وهي مناطق الأحواض البحرية الداخلية Geosynclines أو مناطق الالتواءات Orogens. وهو يعتبر الكتل الصلبة القديمة أحجار الأساس في بناء القارات الحالية.

ويمكن اقتفاء أثر تسع من تلك الكتل القديمة وهي: الكتلة الروسية، وكتلة سيبيريا، وكتلة الصين، وكتلة الهند، والكتلة الأسترالية، وكتلة القارة الجنوبية، وكتلة البرازيل، والكتلة الكندية ثم الكتلة الإفريقية. وتتميز هذه الكتل جميعاً باصابتها بقدر عظيم من عمليات التحول الصخري. وقد ازدادت هذه الكتل اتساعاً أثناء العصور الجيولوجية نتيجة لظهور سلاسل إلتوائية جديدة أضيفت إليها، نشأت عن إلتواء الرواسب في مناطق الأحواض البحرية الداخلية وتحركها لتلتحم بتلك الكتل القديمة.

وهناك اتفاق عام بين الباحثين على أنه قد ساد بعض فترات تاريخ الأرض نشاط تكتوني كوّن المرتفعات. ولكن هناك خلاف في تقدير العدد

الفعلي لتلك الفترات. ولقد ميز كوبر ست فترات حدثت أثناءها حركات إلتوائية،وهو يعتقد أن الأحداث الجيولوجية العامة وتتابعها كانت متماثلة في كل منها. ففي البداية كان ينشأ حوض بحري داخلي تتراكم فيه الرواسب، ثم يلي ذلك فترة إلتواء في أثنائها كان يتحرك جانباً الحوض في اتجاهين متقابلين، فتنضغط الرواسب في قاع الحوض بسبب تلك الحركة وتنثني إلى أعلى مكونة لسلاسل المرتفعات الالتوائية. ويصحب حدوث الحركة الالتوائية نشاط بركاني وعمليات تحول صخري. ثم يعقب تكوين المرتفعات فترة طويلة تتعرض فيها لفعل عوامل التعرية التي تؤدي إلى نحتها وتسويتها وتحويلها إلى سهول تحاتية، وتحمل عوامل التعرية التكوينات التي نحتتها إلى حوض داخلي جديد حيث تتراكم وتبدأ الدورة مرة أخرى.

ولا يعرف سوى القليل عن النشاط الالتوائي في الحركات الثلاث القديمة الأولى، ولم تكتشف شواهد تلك الحركات الثلاث إلا في قارة أمريكا الشمالية حيث عثر الجيولوجيون على أدلة واضحة حول البحيرات العظمى لثلاث حركات إلتوائية على الأقل حدثت فيما قبل العصر الكامبري.

وفي أوائل الزمن الأول كانت قد تحددت معالم الكتل الثابتة ومناطق الحركة، ولكننا لا نستطيع أن ندعي أننا نعرف أحجامها وتوزيعها على وجه الدقة آنذاك. ولقد حدثت خلال الزمن الأول حركتان إلتوائيتان رئيسيتان على الأقل. الأولى منها وهي الحركة الكاليدونية تمت في أواخر العصر السيلوري، أما الثانية- وقد كانت أعنف وأشد من الأولى- فقد شغلت القسم الأخير من العصر الفحمي والقسم الأول من العصر البرمي، ونشأ عنها سلاسل المرتفعات الهرسينية. وقد شملت الحركة الألبية- وهي آخر حركات النشاط الإلتوائي العظيمة- معظم الزمن الثاني وكل الزمن الثالث، وبلغت أقصى عنفوانها في عصر المايوسين.

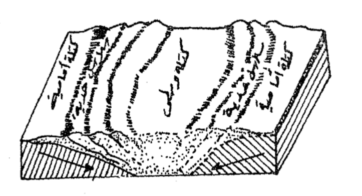
ولقد حدث كل من هذه الثورات التكتونية أثناء فترة طويلة جداً من الزمن، أما حركة الإلتواء نفسها أي ارتفاع الرواسب وتكوين المرتفعات فقد كانت تشغل قسماً من تلك الفترة الطويلة يحتمل أنه القسم الأهم في سلسلة الأحداث الجيولوجية التي تنتاب الحوض الداخلي أثناء فترة النشاط الإلتوائي.

ويعتقد كوبر في دورية النشاط الالتوائي، ولكنه لا يشترط تساوي الفترات التي تفصل بين الأدوار الالتوائية. وهو حين يتناول بالتحليل تركيب ونشأة سلاسل الجبال يتبع الأفكار العامة التي يعتنقها جيولوجيوا مدرسة غربي الألب، ولكنه لا يغالي في آرائه كما يفعل المتطرفون من أتباع هذه المدرسة. فهو يفترض أن الأحواض الداخلية التي تراكمت فيها الرواسب كانت طويلة وواسعة، وهو في هذا يختلف مع هوج Haug الذي يرى أن تلك الأحواض كانت طويلة ولكن ضيقة. وهو يعتقد أن عملية ضغط الرواسب ورفعها قد نشأت عن طريق تحرك لكلا جانبي الحوض الداخلي في اتجاهين متقابلين. ولا شك أن حركة أحد الجانبين من الممكن أن تكون أقوى من حركة الجانب الآخر، ولكن كنتيجة عامة تؤدي عمليات الضغط إلى إنشاء مجموعتين من السلاسل الحدية يطلق عليها بالألمانية اسم Randketten (border ranges) إحداها على جانب من الحوض والثانية على طول الجانب الآخر المقابل له. وإذا حدث وكانت عملية الضغط بالغة الشدة فقد يلتصق جانباً الحوض أو يقتربان من بعضها، وعندئذ تنضغط جميع رواسب الحوض وترتفع مكونة لسلاسل جبلية حدية متجاورة شديدة التعقيد تمتد على طول ما يشبه النّدب ولذا تسمى أحياناً بالجبال الندبية Narbe (كلمة ألمانية تقابل كلمة Cicatrice الإنجليزية) ومثلها جبال الألب السويسرية. أما إذا كانت شدة الضغط الالتوائي أقل

عنفاً فإن السلاسل الحدية تبقى متباعدة تفصل بينها كتلة وسطى، ومثلها سهل المجر الذي يقع بين مرتفعات الكربات والألب الدينارية (شكل ١٨٠).

هذا النظام الذي يقترحه كوبر لنشوء الجبال يخالف رأي سويس Suess الذي يؤيد نشأة السلاسل الإلتوائية على طول جانب واحد من الحوض الداخلي، والذي يعتقد أن القوة الدافعة للإلتواء تأتي من جانب الأرض الخلفية Hinterland (backland) ، وتدفع بالرواسب الملتوية على الأرض الأمامية Vorland (Foreland) . أما كوبر فيعتقد في انضغاط رواسب الحوض الداخلي بواسطة تحرك كتلتين عظيمتين، وهو يسمى كلاً منها بالأرض الأمامية. وتتميز هذه الحركات المكونة للجبال باضطرابات تكتونية عميقة، ويصحبها قدر عظيم من عمليات التحول الصخري.

ويميز كوبر بين نمطين من الحركات التكتونية. الأول منها عميق ينشىء سلاسل الجبال الالتوائية العظيمة Orogen ، وهو يختلف اختلافاً كبيراً عن النمط الثاني الذي تتميز به الكتل الثابتة والذي يطلق عليه اسم كراتوجين Kratogen . فحركات الكتل الثابتة أو الكراتوجين تؤدي إلى نشوء انكسارات وصدوع وفوالق، وفيها تختفي عمليات الالتواء العميقة. وتعتبر حركات الالتواء الضحلة أو السطحية التي تصيب التكوينات البحرية التي أرسبت فوق اليابس أثناء طغيان البحر عليه من نوع حركات الكتل الثابتة. ويبدو الاختلاف واضحاً بين هذين النوعين من الحركات الالتوائية الثابتة العميق منها والضحل في مرتفعات الألب، وجبال جورا Jura . فجبال جورا تمثل إلتواء غطاء رسوبي رقيق نوعاً تراكمت تكويناته فوق الأرض الأمامية الشمالية الهرسينية للحوض الألبي العظيم. ومن بين أمثلة حركات الكتل الثابتة حركة الرفع التوازنية Isostatic في كتلة اسكنديناوه، وارتفاع خطوط السواحل حول البحيرات العظمى في



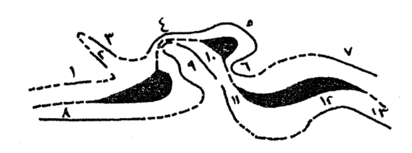
شكل (١٨٠)
يوضح تكوين السلاسل الحدية والكتلة الوسطى نتيجة لتحرك كتلتين قاريتين في اتجاهين متقابلين حسب ما يرى كوبر.

أمريكا الشمالية ثم الحركات التي أنشأت أخدود وادي الراين والأخدود الأفريقي العظيم، والهورستات Horsts أو المرتفعات الانكسارية في وسط أوربا.

ولقد استعان كوبر في بناء نظريته على الحقائق الرئيسية المعروفة عن تركيب الكتل القارية والأحواض المحيطية. وسنعرض هنا لبناء قارة أوروبا والمحيطين الأطلسي والهادي في ضوء نظرية كوبر، ونرى إلى أي حد تستطيع هذه النظرية أن تفسر معالم قشرة الأرض.

لا شك أن قارة أوروبا هي أكثر القارات حظوة بالدراسة والمعرفة. وحينما ندرس ماضيها الجيولوجي نجد أن لبنائها عناصر رئيسية معينة يمكن تمييزها بوضوح. فهناك نظام سلاسل المرتفعات الألبية الضخم الذي يمتد من مضيق جبل طارق عبر أوروبا وفوق آسيا حتى شرقها. ولقد نشأ هذا النظام في حوض داخلي عظيم المساحة هو حوض بحر تيشس Tethys ، إذ انضغطت الرواسب التي ملأته– كما يرى كوبر– فيما بين نطاقي الأراضي الأمامية الافريقي والأوروبي. ويتمثل هذا النظام في معظمه في شكل

سلاسل حدية تحصر بينها كتلا وسطى، ككتلة سهل المجر التي تقع بين مرتفعات الكربات ومرتفعات الألب الدينارية، والكتلة الغارقة تحت مياه البحر التيراني (باستثناء الجزر كسردينيا وكورسيكا وغيرهما) التي تنحصر بين سلاسل البرانس والبروفانس Provence من جهة، ومرتفعات أطلس في المغرب العربي من جهة أخرى. وحيث كانت عملية الضغط بالغة العنف تقاربت السلاسل الإلتوائية فيما يعرف بسلاسل الندب، ومثلها مرتفعات



شكل رقم (١٨١) الالتواءات الألبية كما يراها كوبر
الأجزاء المظللة= كتل وسطى.

١ - بيتيك كورديليرا Betic Cordillera
٢ - مرتفعات شمال شرق أسبانيا.
٣ - جبال البرانس.
٤ - سلاسل الألب.
٥ - جبال الكربات.
٦ - جبال البلقان.
٧ - مرتفعات القوقاز.
٨ - جبال أطلس.
٩ - جبال الأبنين.
١٠- مرتفعات الألب الدينارية.
١١- مرتفعات اليونان.
١٢- جبال طوروس.
١٣- المرتفعات الإيرانية.

الألب الغربية. ويرى كوبر أن كتلة الرصيف الروسي الثابتة، والكتل الهرسينية الصلبة نسبياً قد تحكمت وأثرت في التوزيع العام للمرتفعات الحديثة في أوربا. ويوضح الشكل (١٨١) الاتجاهات الرئيسية لخطوط الإلتواءات. ويبدو منه أن الاتجاه العام لامتداد المرتفعات هو من الغرب إلى الشرق، ولا يشذ عن ذلك سوى مرتفعات الأبنين Appenine والألب الدينارية. هذا ويمكن قبول آراء كوبر فيما يختص بافتراض حوض عظيم الامتداد كان يقع مكان مرتفعات الألب والهيالايا.

وتتميز حركة الالتواءات الفارسكية حسب ما يرى كوبر بميزات مشابهة للحركة الألبية، إذ يفترض حركتين متقابلتين لنطاقين من الأراضي الأمامية وهما كتلة أوروبا وكتلة أفريقيا. وقد تقاربت الإلتواءات الحدية الشمالية في شكل سلاسل ندبية، وذلك حيث كانت حركة الإلتواء عنيفة خاصة في حقل الفحم البلجيكي، وتتمثل بقايا السلاسل الحدية الشمالية في المرتفعات الانكسارية الحالية بأوروبا، وقد تداخلت الأجزاء الجنوبية من تلك السلاسل في حركات الإلتواء الألبية الأحدث. إذ أن الكتل البلورية التي يتضمنها نطاق مرتفعات الألب في معظمها هرسينية النشأة.

ولقد جاءت ضغوط حركة الالتواءات الكاليدونية من اتجاهات متباينة، ففي اسكتلندا سادت ضغوط غربية، وفي اسكنديناوة تسببت في حركة الرفع ضغوط جنوبية شرقية. معنى هذا أن حركة الإلتواءات الكاليدونية تتميز هي الأخرى بازدواج سلاسل مرتفعاتها الحدية، ولكننا لا نجد للكتلة الوسطى هنا وجوداً، إذ يحل محلها منخفض وسيط Zwischentief (كلمة ألمانية تقابل Median deep) تشغل قسماً منه الآن مياه بحر الشمال.

وتمثـــل كتلـــة الرصيـــف الروسي وكتلـــة فينو- سكانديـــا Fenno-Scandia (فنلندا واسكندناوة) النواة التي نمت حولها القارة الأوروبية، وهما كتلتان صلبتان ثابتتان تحيط بهما في الوقت الحاضر سلاسل من الجبال الإلتوائية المختلفة الأعمار، إذ نجد مرتفعات كاليدونية في شبه جزيرة اسكندناوة، والتواءات هرسينية في مرتفعات أورال، والتواءات ألبية في مرتفعات الألب وفروعها. من هذا نرى أن قارة أوروبا قد كبرت واتسعت رقعتها عن طريق الامتداد التدريجي لكتلة الرصيف الروسي وكتلة فينو - سكانديا، إذ أن نطاقات الالتواءات العديدة قد التحمت بها على مر العصور. وتمثل قارة أوربا في العصر الحالي قسماً من القارة العظيمة التي تسمى بقارة أوراسيا Eurasia ، أي قارتي أوروبا وآسيا. وقد اتسعت مساحة آسيا عن طريق تحول الأحواض الداخلية إلى نطاقات من الأراضي الإلتوائية المرتفعة فيما بين أجزاء من كتلتين ثابتتين هما أنجارا Angara وجندوانا Gondwana .

وشبيه بهذا التطور الذي عاناه بناء قارة أوربا، التطور الذي مر به بناء ونمو القارات الأخرى. إذ نجد في كل منها كتلاً قديمة تمتاز بالصلابة والثبات، تحيط بها نطاقات من الجبال الإلتوائية. ويمكن القول عامة أن تلك الكتل القديمة قد نمت أيضاً بالتدريج عن طريق التحامها بالسلاسل الإلتوائية المختلفة الأعمار.

أما تكوين ونشأة المحيطات فمسألة تبدو أكثر صعوبة وتعقيداً، ويعتقد كوبر فيما يختص بنشأة المحيط الأطلسي بأن الحافة الأطلسية التي تمتد بطول المحيط ما هي إلا قمة إلتواء غائص. والواقع أن نشأة هذه الحافة قد أثارت الكثير من الجدل وأفسحت المجال لكثير من الآراء. وهناك من الأسباب ما يدعو إلى الاعتقاد بأن قاع المحيط الأطلسي يتركب من مادة السيال وليس

من مادة السيما! ويبدو أن فيجنر يميل إلى الأخذ بهذا الرأي أيضاً. ويرى كوبر أن المحيط الأطلسي كله ما هو إلا التواء عميق Orogen غائص، ويتمثل محور الإلتواء المحدب في الحافة الوسطى التي تفصل بين حوضين ما هما سوى ثنيتين مقعرتين. وتتركب تخوم المحيط أساساً من كتل قارية هضبية، تقطعها العيوب والانكسارات أو سلاسل من المرتفعات العرضية. معنى هذا أن الإلتواء ذا النشأة العميقة قد غرق بينما بقيت الإلتواءات الضحلة Kratogen ظاهرة بارزة تحدد معالم هذا المحيط في الشرق وفي الغرب.

ولما كانت سواحل المحيط الهندي والمحيط الشمالي تشبه في خصائصها ذلك النمط الذي رأيناه في سواحل المحيط الأطلسي، لهذا يرى كوبر اعتبار نشأة هذين المحيطين شبيهة بنشأة المحيط الأطلسي.

أما المحيط الهادي فيمثل لغزاً أكثر تعقيداً. فهذا المحيط تحيط به سلاسل من المرتفعات الإلتوائية الحديثة، كما تكتنف سواحله كثير من سلاسل الجزر والمنخفضات الأمامية Vortiefe (= Foredeeps) : ويميز كوبر بين ثلاثة أنواع من هذه الأعماق أو المنخفضات الأمامية. **النوع الأول** يوجد عند محك الإلتواء العميق بالإلتواء الضحل، ومثاله المنخفض الذي يقع إلى الشرق من جزر كوريل وجزر اليابان. إذ يرى كوبر أن جزر اليابان تمثل كتلة رفعت ودفعت فوق إلتواء ضحل فهبطت الأرض أمامها مكونة لمنخفض عميق. وبهذا يفسر كل المنخفضات العميقة التي تقع قبالة الأقواس الجزرية والحدية. **والنوع الثاني** يسميه كوبر بالمنخفض الوسيط Zwischentief ويقع بين السلاسل الجبلية الحدية لإلتواء معلوم، وهو بهذا يمثل حوضاً إلتوائياً أو إلتواء مقعراً في نشأته، ويمثله منخفض بسمارك Bismarck إلى الشمال من غينيا الجديدة. **أما النوع الثالث** فنشأته ما تزال

غامضة، ويمنه منخفض ماريان Marianne الذي يقع إلى الشمال الشرقي من جزر الـ

ويقسم كو الحيط الهادي إلى قسمين متميزين: قسم شمالي وقسم جنوبي. ويمتاز القسم الشمالي بأقواس جزرية تكتنف ساحله، كما يتميز جانبه الشرقي بسلاسل جبلية تتخذ اتجاهاً عاماً من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي. ولكن كوبر يعتبر شمال الهادي وجنوبه كليهما أراضي أمامية قد هبطت وغرقت في عصر جيولوجي حديث نسبياً. والواقع أن هناك من يدعي وجود قارتين في الزمن الثاني، إحداهما كانت تشغل شمال المحيط الهادي والأخرى كانت تحتل جنوبه، وكان يفصلهما حوض بحري داخلي عظيم كان يشغل القسم الأوسط من ذلك المحيط. ولهذا الإدعاء في الواقع خطورته، إذ يبدو أنه يفترض أن قاع المحيط الهادي يماثل في تركيبه الكتل القارية المتاخمة له. وهذا ينافي نتائج الدراسات الجيوفيزيقية والزلزالية الحديثة، ولذا فإن هذا الإدعاء محل شك كبير.

وقد درس كوبر تضاريس الأرض الكبرى وميز فيها بين ثماني وحدات مورفوتكتونية. وافترض أنها تنتظم في شكل هندسي مثمن الأوجه، وهذه الوحدات هي: (١) قارة أفريقيا ومعها أجزاء من المحيط الأطلسي والمحيط الهندي (٢) كتلة الهند وأستراليا (٣) كتلة أوراسيا (٤) «قارة» المحيط الهادي الشمالية (٥) قارة المحيط الهادي الجنوبية (٦) كتلة أمريكا الجنوبية (٧) كتلة أمريكا الشمالية (٨) قارة أنتاركتيكا.

وهو بهذا يفترض اختفاء كتل قارية عظيمة عن طريق الهبوط والإغراق مكونة للمحيطين الأطلسي والهندي بل وللمحيط الهادي شماله وجنوبه.

والواقع أن نظرية كوبر ما هي إلا مركب أو خليط من آرائه الخاصة بالحركات الإلتوائية العميقة، ومن نظرية هول ودانا Hall and Dana القديمة، وهي نظرية الأحواض الداخلية التي تناولها هوج Haug فيما بعد بالتعديل والتطوير. ولكن الأحواض الداخلية التي رآها كوبر لا تتفق في مواقعها مع الأحواض التي افترضها هوج، فالأولى أعظم من الأخيرة وأكثر اتساعاً وامتداداً.

ويعتبر كوبر من المؤيدين لنظرية الإنكماش. وهو يعتقد أن الأرض كانت تنكمش أثناء تاريخها الطويل فتضغط على الرواسب المتراكمة في الأحواض الداخلية وترفعها، ومن ثم تكونت تدريجياً تلك الكتل القارية التي نعرفها بشكلها الحالي. وهو يؤمن بأن انكماش الأرض هو المولد للقوى الدافعة وهو خالق الضغوط، ولكنه يعترف اعترافاً كاملاً بنظرية التوازن. ويرى أيضاً أن الحركات الأفقية التي تضغط الرواسب وترفعها منشئة لنطاق إلتوائي تؤدي في نفس الوقت إلى تكوين حوض داخلي أي نطاق منخفض تتراكم فيه الرواسب من جديد. فتكوين المرتفعات إذن يتم في دورات، ولكن لا يشترط أن تتساوى الفترات الفاصلة بينها. ويعتقد كوبر أن الكتل الثابتة التي تحصر بينها نطاقات الأحواض الداخلية هي التي تتحرك بواسطة القوى الناجمة عن الانكماش، فتؤدي إلى ضغط الرواسب في الأحواض ورفعها مكونة للسلاسل الجبلية الحدية. ويقل تأثير تلك الحركات في الأجزاء الوسطى التي قد لا ترتفع إلا قليلاً. خصوصاً حينما يكون الحوض الداخلي عظيم الاتساع.

٣- نظرية الإنكماش

يعتبر جيفريز من أكبر أنصار نظرية انكماش الأرض بسبب تناقص الحرارة Thermal Contraction Theory، ومعظم آرائه تستند إلى عمليات رياضية معقدة يصعب فهمها وتتبعها على غير الرياضيين.

ونظرية الانكماش نظرية قديمة، تفترض أن باطن الأرض حار، ولذا فإنه يفقد قدراً عظيماً من حرارته فينكمش ويصغر حجمه. أما قشرة الأرض فباردة، ولذا فإنها تبقى ثابتة الحجم. وينشأ عن ذلك تكوين فراغ بين الباطن الآخذ في التقلص والقشرة الخارجية الثابتة، وهذا ما لا تسمح به قوة الجاذبية، فيترتب على هذا أن تلتوي القشرة نحو الباطن فتتجعّد، وينجم عن ذلك تغيير معالم سطح الأرض. وقد كان هذا التفسير مقبولاً لوجود تشابه بين معالم قشرة الأرض وقشرة التفاحة المتغضنة. ولكن تبين فيما بعد أن الغلاف الصخري يحتوي على عناصر مشعة تبعث الحرارة فيه.

وقد اتجه جيفريز إلى الأخذ بهذه النظرية عندما وجد أن نظرية زحزحة القارات تفتقر إلى أدلة قوية تعزز إمكان وجود قوى كافية تستطيع تحريك الكتل القارية. لهذا فقد بحث عن تفسير تكوين الجبال بأن ربط بين انكماش قشرة الأرض وبين البرودة التدريجية التي أصابت باطن الأرض خلال عمرها الطويل. وهو يعزو تجعد قشرة الأرض إلى البرودة التدريجية التي أصابت جرم الأرض، وإلى نقصان سرعة دوران الأرض حول نفسها.

ويرى جيفريز أن الأغفلة التي تتركب منها الكرة الأرضية تبرد تدريجياً بدرجات متفاوتة منذ نشأتها. كما يدعي بأن كتلة الأرض الباطنية التي تمتد من حوالى ٧٠٠ كيلومتر حتى المركز، لم تتعرض لتغير حراري يذكر،

وبالتالي فقد بقي حجمها ثابتاً على حالته الأولى. أما في مجال السبعمائة كيلومتر الخارجية من جسم الأرض فإن كل طبقة من طبقاته قد تعرضت لفقدان الحرارة بمعدل يزيد كلما اتجهنا نحو السطح. أي أن كل طبقة تفقد من الحرارة أكثر مما تفقد الطبقة التي تحتها، وبهذا تستطيع أن تتقلص بمعدل يتناسب مع الحرارة التي تفقدها. لكن التحامها بتكوينات الطبقة التي تقع أسفلها يقف حجر عثرة دون تحقيق ذلك.

ويعني هذا أن الطبقة السفلى تتحكم في الطبقة التي تعلوها، وتبدو مظاهر هذا التحكم في أن الطبقة العليا لا تنكمش أفقياً، وإنما تتحول طاقة الإنكماش إلى تقلص رأسي، وبذلك لا تتأثر مساحة هذه الطبقة بالانكماش وإنما الذي يتأثر به هو سمكها، فيضمحل ويسترق بمعدل يتناسب مع ما تفقده مواد الطبقة من حرارة.

أما قشرة الأرض الخارجية فنظراً لأنها قد وصلت إلى الدرجة القصوى من البرودة والتقلص، فإنها تبقى ثابتة إلى أن تصبح أكبر من أن تنطبق على الطبقات السفلى التي صغر حجمها بسبب البرودة والانكماش الرأسي، ومن ثم فإنها تتحطم وتنضغط على الطبقات السفلى فتلتوي وتقتضب مساحتها.

وبناء على عمليات حسابية قدر جيفريز مقدار ما أصاب محيط قشرة الأرض من اقتضاب بنحو ٢٠٠ كيلومتر، كما قدر نقصان مساحة سطح الأرض بمقدار ٥ × ١٠^١٦ سنتيمتر مربع. ويحتمل أن هذه التقديرات أقل مما ينبغي، على الرغم من أنه يبدو أنها تتفق إلى حد ما مع تقدير الاقتضاب الذي حدث في قشرة الأرض نتيجة لتكوين المرتفعات. ويبدو أن أرقام مقدار الاقتضاب ستزداد ارتفاعاً كلما ازدادت المعرفة عن سلاسل الجبال وتكوينها.

هذا ويعترف جيفريز بظاهرة تكوين الجبال في دورات متعاقبة، ويفسرها أيضاً عن طريق عملية الانكماش التي يترتب عليها من القوى الضاغطة ما يفوق مقاومة الصخور، فينشأ عن ذلك تجعد قشرة الأرض وتكوين الجبال الإلتوائية، وتظل عمليات الإلتواء دائبة إلى أن تُستنفد طاقة تلك القوى. فتسود فترة هدوء تطول أو تقصر، أثناءها تتجمع الضغوط وتحتشد، وحين يشتد ساعدها تتكرر حركات تكوين الجبال. ويقدر جيفريز- بطرق رياضية أساسها حساب مقدار تحمل الصخور مختلف الضغوط- عدد الدورات الإلتوائية التي أصابت قشرة الأرض بخمس دورات. وهو رقم يتفق مع نتائج الأبحاث التي تستند على أسس وشواهد أخرى. وإن كانت هناك اختلافات في التفاصيل.

ويرى كثير من الباحثين أن عملية الانكماش لا يمكن أن تؤدي إلى تكوين مجموعات ضخمة محدودة العدد من سلاسل المرتفعات، وإنما باستطاعتها أن تنشيء عدداً كبيراً من الثنيات الصغيرة أو الإلتواءات الثانوية.

ويرد جيفريز على هذا الاعتراض بأنه من الممكن لقوى الضغط الناجمة عن الانكماش أن تنشيء سلاسل عظيمة من الجبال، ويفسر ذلك رياضياً عن طريق مثالين: الأول منهما يفترض أن الأرض مسطحة وعليها قارة مربعة الشكل تعرضت لضغوط في جميع أجزائها، فإن تلك الضغوط كفيلة بأن تكون مجموعتين رئيسيتين من السلاسل الجبلية توازيان جوانب القارة. والمثال الثاني يفترض قارة دائرية الشكل فوق أرض كروية، وتعرضت لضغوط متساوية على جميع امتداد محيطها، فإن الضغوط تستطيع أن تنشيء سلسلتين جبليتين رئيسيتين تتقاطعان عند مركز الدائرة حتى ولو كان قطر تلك الدائرة عظيماً.

وهنا تواجه النظرية مشكلة أخرى. فإذا ما حدث وكانت الضغوط التي تصيب قشرة الأرض نتيجة للإنكماش محلية متفرقة، فإنه يترتب عليها تكوين التواءات عديدة محلية متباعدة، ولا ينشأ عنها تكوين إلتواءات عظيمة مركزة، كما نشاهدها في نطاقات الألب والهيملايا وغيرها. هذا بافتراض أن قشرة الأرض مستقلة عما تحتها من طبقات فلا تستطيع توصيل الضغوط من مكان لآخر.

والواقع أن مثل هذا الافتراض في غير محله. إذ أن قشرة الأرض ترتكز دائماً على الداخل، نظراً لأن قوة الجاذبية تشدها نحو الباطن. لهذا فإن حدوث أية حركة إلتوائية رافعة لا بد وأن تشمل المواد الموجودة أسفل القشرة الخارجية، ومن ثم فإنه من المحتمل أن قشرة الأرض تستطيع أن توصل القوى الضاغطة الأفقية فوق مساحات عظيمة ولمسافات كبيرة دون أن تحدث فيها إلتواءات ثانوية محلية. وتتجمع تلك الضغوط وتحتشد إلى أن تبلغ القدر الذي يفوق طاقة احتمال الصخور فتلتوي القشرة، مكونة لمرتفعات عظيمة الارتفاع والامتداد. ويرى جولدشتاين Goldstein أن أي قسم من قشرة الأرض لا يقل سمكه عن ١٢ متر يستطيع أن يوصل أية ضغوط ما دامت تلك الضغوط في طاقة احتمال المواد التي يتركب منها.

وإذا صح هذا وذاك فإن أمر تركز السلاسل الإلتوائية في نطاقات محدودة ليصبح واضحاً مفهوماً على افتراض أنه من الأسهل أن يتكرر حدوث الإلتواءات حيثما نشأت في الأصل، بدلاً من أن تصيب قشرة الأرض في أماكن جديدة.

ويتفق هذا مع ما نشاهده في كثير من الحالات، إذ نجد سلاسل الجبال الإلتوائية التي تنسب لعصور جيولوجية متباينة وقد تجاورت في مواقعها

الجغرافية، مثال ذلك سلاسل المرتفعات الهرسينية والألبية في قارة أوراسيا.

هذا ويعتقد جيفريز أن سرعة دوران الأرض حول نفسها قد قلت عن ذي قبل. فمنذ نحو ١٦٠٠ مليون سنة كانت الأرض تتم دورتها حول نفسها في زمن مقداره نحو ٠,٨٤ من يومنا الحالي الذي يبلغ طوله ٢٤ ساعة. ولا شك أن دورة الأرض حول نفسها كانت تتم في زمن أقصر من ذلك كلما توغلنا في القدم. ويتبع هذا أن الأرض قد انكمشت وصغر حجمها، فقلت الفرطحة عند القطبين، ونقص الإنبعاج عند الدائرة الإستوائية، وبذلك أصبحت الأرض أكثر استدارة عن ذي قبل. وقد قدر الاقتضاب الذي حدث في المحيط الاستوائي في أثناء تلك الفترة بنحو ١٨ كيلومتر، وهو قدر ضئيل لا يمكن أن يسهم بدور ذي شأن في عمليّات تكوين الجبال العظيمة.

وكان من الممكن أن يختلف الأمر عن ذلك لو أن القمر قد اقتطع وانتزع من الأرض في خلال الـ ١٦٠٠ مليون سنة الأخيرة، إذ أن انفصاله يمكن أن يؤدي إلى انكماش في المحيط الاستوائي يعادل نحو ١٠٠٠ كيلومتر. ولكن القمر كتابع للأرض قد انفصل عنها - بناء على كل الآراء تقريباً - فيما قبل التاريخ الجيولوجي.

وهناك مشكلة أخرى تختص بتفسير نشأة القارات والمحيطات. فإذا افترضنا مع جيفريز أن الأرض كانت في الأصل كتلة غازية ثم تكاثفت ومرت في مرحلة سائلة قبل أن تتصلب، فإنه من الصعب أن نتصور أن عملية التمايز في سطح الأرض إلى يابس وماء قد تمت أو أمكن أن تتم أثناء تلك المرحلة، فسطح الأرض حينئذ كان ينبغي أن يكون مستوياً. ونحن نلاقي نفس الصعوبة أيضاً لو افترضنا أن تصنيف سطح الأرض قد تم بعد

تصلب الأرض تماماً، إذ كيف استطاعت مواد اليابس- وغالبيتها العظمى تتألف من مواد جرانيتية خفيفة- أن تتخلص من تحكم الأرض الصلبة وتتجمع وتحتشد لتكون الكتل القارية. قد يبدو هذا ممكناً لو أخذنا بإحدى النظريات التي تقوم على أساس الزحزحة، ولكن جيفريز لا يؤمن بها. وهو يعتقد أن تكوين الكتل القارية والأحواض المحيطية قد حدث في الفترة التي أثناءها كانت الأرض تتحول من السيولة إلى الصلابة، ويرى أن قشرة رقيقة من الأرض تصلبت في البداية قبل أن تتركز المواد ذات النشاط المشع في الطبقات العليا، وحينئذ كان من الممكن أن تستجيب مواد الأرض التي ما زالت في حالة منصهرة للتأثيرات المدية مما يسمح بانتقال الكتل المتصلبة وتحركها في مكان أو في آخر.

وهناك من النظريات ما تحاول تفسير هذه المسألة. ولعل أهمها وأكثرها احتمالاً نظرية فيشر O Fisher التي تحاول تفسير نشأة القمر عن طريق اقتطاعه من الأرض، وإن كان جيفريز يعارضها أشد المعارضة. فإذا كان القمر قد انسلخ عن الأرض في مرحلة التحول من السيولة إلى الصلابة (وهذا يخالف نظرية جيفريز التي تفترض أن الأرض قد انفصلت عن الكواكب الغازية قبل تكاثفها) فإنه قد لا يبدو معقولاً أن نتصور أن قسماً كبيراً من قشرة الأرض الصلبة قد تمزق وانفصل تاركاً وراءه قشرة مقطعة الأوصال. ويحتمل أن هذه القشرة كانت تبدو حينئذ في شكل جزر من الكتل الخفيفة الطافية فوق طبقات من مواد أكثف منها ما زالت في حالة منصهرة. ثم تمكنت تلك الكتل من التجمع لتكون القارات القديمة، وإذا صح هذا فإنه من الممكن قبول نظرية فيشر، وأيضاً قبول ما يراه من أن الفجوة التي يشغلها المحيط الهادي حالياً تمثل المنطقة التي سلخت منها كتلة القمر. هذا على الرغم من أن كتلة القمر أكبر بكثير من الحوض الذي تشغله

مياه المحيط المادي كما أنها لا تنطبق عليه.

هذا ويعتقد جيفريز في ثبات الأحواض المحيطية والكتل القارية، ويرى أن تزحزح القارات كما يراه فيجنر أمر مستحيل، وأن القارات والمحيطات قد بقيت راسخة في مواقعها دون تزحزح يذكر.

وينظر جيفريز إلى الحركات الرأسية على أنها أمر ممكن، وهو بهذا يأخذ بنظرية المعابر البرية ويبعث فيها الحياة من جديد. وتفترض هذه النظريـة وجود معابر بريّة - غرقت فيما بعد - كانت تصل بين القارات التي تقع الآن بعيدة عن بعضها. وهي تفسر بذلك ظاهرة انتشار فصائل نباتية وحيوانية معينة تبدو الآن موزعة في قارات قصية عن بعضها. وتواجه هذه النظرية اعتراضات تستند إلى نظرية التوازن التي تقول بأن الكتل القارية الخفيفة تطفو فوق أساس أكثف منها وأثقل. ونظرية التوازن Isostasy لم تعد الآن مجرد نظرية، إذ غالباً ما ينظر إليها كحقيقة قد خرجت من حيز النظريات، ولهذا لا يمكن إهمالها أو التغاضي عنها.

ويقول جيفريز أن الشواهد المستقاة من الدراسات الزلزالية وغيرها تدل على أن قشرة الأرض تتركب من مواد متباينة لها القدرة على أن تتخذ حالات مختلفة كالحالة الزجاجية والحالة البلورية. وهو يرى أنه لو تحولت طبقة من مواد التراكيليت Trachilyte الزجاجية يبلغ سمكها عشرين كيلومتراً إلى مواد الإكلوجيت Eclogite البلورية، فإنه ينشأ عن ذلك تقلص في حجمها وهبوط في مستواها يقدر بنحو ٣,٦ كيلومتر. وفي اعتقاده أن هذا القدر من الانخفاض كاف لإغراق واختفاء أي معبر بري تحت مستوى مياه المحيط دون أن يتعارض هذا مع الأسس التي تستند عليها نظرية التوازن. وقد يكون هذا سبب وجود كتل من الصخور القارية في

قيعان بعض المحيطات، بل وقد يكون هذا سبب منشأ قاع سيالي لمحيط أو لآخر كما يفترض للمحيط الأطلسي، ويرى جيفريز أن المعابر البرية قد ساعدت على انتشار الحيوانات البرية في جهات اليابس المختلفة. والواقع أن توزيع البذور والبويضات الخاصة بأنماط معينة من النبات والحيوانات الذئبية قد لا تمثل مشكلة كبيرة إذا اعتبرنا بأن التيارات البحرية هي المسئولة عن انتشارها، أما توزيع وانتشار الطيور كالنعام، والحيوانات ذوات الأكياس كالكنجرو في القارات الجنوبية، فيمثل مشكلة كبيرة بالنسبة لأية نظرية جيوتكتونية.

وإنه لمن الصعب أن نتجاهل الشعور بأن جيفريز قد بالغ واشتط في معارضته لنوع التزحزح القاري الذي ارتآه فيجنر. فالمشكلة في الواقع ليست مجرد مسألة رياضية طبيعية بحتة كما يراها جيفريز، إذ أن لها جوانبها الجيولوجية الأهم. هذا على الرغم من أننا لا نستطيع أن ننكر أن الفكر الجيولوجي يعارض بعض أشكال الزحزحة.

٤- نظرية زحزحة القارات

لفيجنر

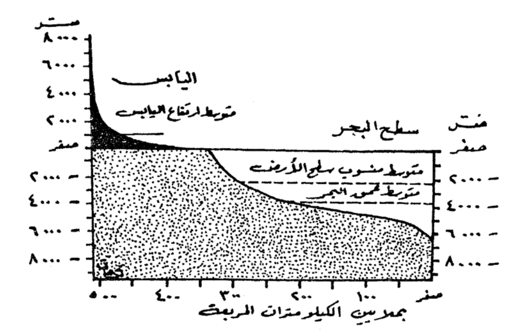
لم يكن فيجنر A. Wegener أول من ابتدع إمكان زحزحة الكتل القارية Continental drift ، فقد سبقه إليها تيلور F. B. Taylor (١٩١٠) في أمريكا، بل لقد سبقها إليها الفرنسي سنيدار A. Snidar في عام ١٨٥٨. ولكن نظرية الزحزحة لم تصبح محل اهتمام الباحثين ومثاراً للنقاش والجدال بينهم إلا عندما نشرت الطبعة الثانية من كتاب فيجنر « نشأة القارات والمحيطات » في عام ١٩١٤.

ولقد قدم فيجنر عدداً كبيراً من الأدلة التي تشهد بأنه قد حدث تزحزح للكتل القارية، وبأن هذا التزحزح ما يزال دائباً حتى الوقت الحاضر. وقد استعان في بناء نظريته بأعمال الجيولوجيين وبحاث المناخ القديم والباليونتولوجيين والجيوفيزيقيين وغيرهم، واهتم اهتماماً خاصاً بتوزيع الحيوانات والنباتات القديمة على سطح الأرض. وعلى الرغم من أن فيجنر قد هوجم في كل آرائه، وأن معظمها قد نقض من أساسه، إلا أنه يعتبر الرائد الأول في هذا المجال الجديد من الفكر. فالاتجاه الحديث في دراسة تكتونية الأرض لا شك مدين له بالكثير. وقد اقتبس فيجنر آراء سويس Suess فيما يختص بتركيب الكرة الأرضية. فقشرة الأرض تتركب من طبقة سيالية خفيفة تتألف من السيليكا والألومنيوم، ترتكز على طبقة من السيما الكثيفة تتكون من السيليكا والمغنسيوم، أما باطن الأرض فيتركب من الحديد والنيكل. ولكن بينما يرى سويس أن طبقة السيال تكون غطاء متصلاً يحيط بالأرض، نجد فيجنر يعتقد أن ذلك الغطاء مقطع غير متصل ويقتصر وجوده على الكتل القارية وحدها، كما يرى أن قاع البحر العميق يمثل

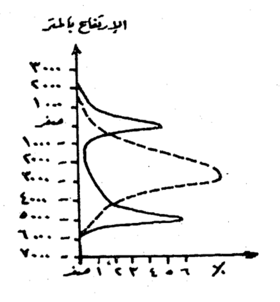
السطح العلوي لطبقة السيا.

ويرى فيجنر أن اليابس كله كان في العصر الفحمي محتشداً في كتلة سيالية واحدة عظيمة الرقعة أطلق عليها اسم قارة بانجايا Pangaea ، وكان يحيط بها محيط شاسع المساحة يرتكز على طبقة السيما. ولم يذكر فيجنر سوى القليل عما كان عليه حال توزيع اليابس والماء فيما قبل العصر الفحمي، وكانت هذه من بين نقط الضعف التي أثارها معارضوا نظريته. ومع هذا ينبغي أن لا ننسى أن الأحداث الجيولوجية فيما قبل العصر الفحمي غامضة وغير مؤكدة، وإذا كان فيجنر قد أهملها، فإن هذا لا يعني أنه لا يؤمن بالزحزحة فيما قبل ذلك العصر. والواقع أيضاً أنه ليس من العدل في شيء أن يقال أن حركات بناء المرتفعات التي حدثت فيما قبل العصر الفحمي لا يمكن تفسيرها على أساس نظرية فيجنر لمجرد أنه لم يتعرض للعمليات الجيولوجية التي تمت في العصور السابقة لذلك العصر.

ولقد استند فيجنر في توزيع الكتل القارية السيالية وقيعان البحار السياوية على المنحنى الهيبسو جرافي Hypsographic Curve المشهور للباحث كروميل Kruemmel (شكل رقم ١٨٢)، وعلى المنحنى الذي رسمه ترابيرت Trabert (شكل رقم ١٨٣). والمنحنى الأول يُوضح معالم سطح الأرض في شكل منحنى متصل، بينما يُوضح المنحنى الثاني النسب المئوية لتلك المعالم رسمت كوحدات مساحية لأي ارتفاع فوق مستوى البحر ولأي انخفاض تحت منسوب البحر، وذلك بالنسبة لجميع مساحة الكرة الأرضية، وتبرز من المنحنى الثاني قمتان واضحتان، إحداهما عند ارتفاع ١٠٠ متر فوق مستوى البحر، والثانية عند عمق ٤٧٠٠ متر تحت منسوب مياه البحر.



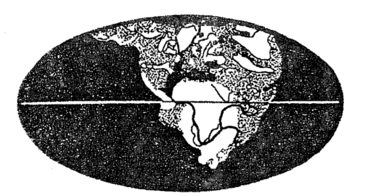
شكل (١٨٢) المنحنى الهيبسوجرافي للباحث كروميل.



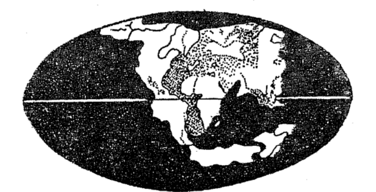
شكل (١٨٣) منحنى ترابيرت يمثله الخط المتصل، ومنحنى فيجنر يمثله الخط المتقطع.

وقد اتخذهما فيجنر لتمثلان سطحين واضحين: سطح السيال وسطح السيما على التوالي. وهو يعتقد أن السطح الأصلي للأرض لم يكن مشوهاً للدرجة التي يوضحها منحنى ترابيرت. لهذا فقد رسم منحنى يبدو متقطعاً في الشكل (١٨٣)، تبرز فيه قمة واحدة عند عمق ٢٤٥٠ متراً تحت منسوب مياه البحر. ولكنه أخطأ إذ استخدم في رسمه لذلك المنحنى ضعف المساحة التي يتضمنها منحنى ترابيرت. وهذا مثال لما حدث لكثير من آرائه. فالواقع أن لفيُجنر أفكاراً عبقرية، ولكنه كثيراً ما أضاع قيمتها نتيجة لوقوعه في مثل تلك الأخطاء، وبسبب إهماله للشواهد التي تناقض أفكاره الخاصة.

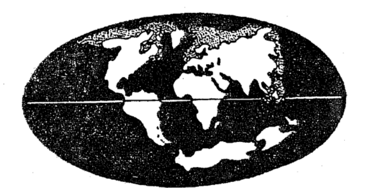
ويعتبر فيجنر العصر الفحمي بمثابة البداية الحقيقية لنمو ونشوء المعالم الحالية لسطح الكرة الأرضية (أشكال ١٨٤ – ١٨٦). وهو يعتقد أن قارة بانجايا قد تمزقت بعد ذلك العصر، وانشطرت إلى أجزاء أخذت تتزحزح إلى المواقع التي تشغلها الآن القارات الحالية. ولقد لاحظ كثير من الباحثين التشابه الكبير بين ساحلي المحيط الأطلسي الشرقي والغربي، وكذلك موازاة الحافة الغائصة الوسطى في المحيط الأطلسي عموماً للساحلين. ويذهب فيجنر إلى القول بأن هذا التماثل بين جانبي المحيط يدل على أنهما كانا متلاصقين فيما مضى. وهنا تبرز نقطة هامة: فإذا كانت القارات قد تزحزحت بعيداً عن بعضها، فكيف يمكن إعادة تجميعها وبنائها بحيث تلتحم في قارة واحدة هي بانجايا؟ من الواضح أنه لو كان قاع البحر العميق هو السطح الخارجي للسيما، فإنه من الممكن أن نعيد إلصاق حضيض الحافات القارية. وقد حاول فيجنر جهده أن يصل إلى تطابق دقيق بين جانبي المحيط الأطلسي عن طريق إيصال حواف الأرصفة القارية ببعضها، ولكنه لم يوفق، فقد تبين أنه من العبث إجراء مثل هذه المحاولات، فإذا كانت القارات كتلاً سيالية



شكل (١٨٤) توزيع اليابس والماء في العصر الفحمي الأعلى.



شكل (١٨٥) توزيع اليابس والماء في عصر الأيوسين.



شكل (١٨٦) توزيع اليابس والماء في عصر البلايوستوسين الأسفل.

شكل (١٨٤ - ١٨٦) توزيع اليابس والماء خلال ثلاث فترات جيولوجية حسب ما ترى نظرية زحزحة القارات لفيجنر.

المحيطات: موضحة باللون الأسود. البحار الضحلة: مظللة بالنقط.

فإنه من الممكن أن يتغير شكلها أثناء تزحزحها وابتعادها عن بعضها نتيجة لتحركها واحتمال تكسرها، ومن ثم تصبح محاولة تجميعها في قارة واحدة كمحاولة لصق أجزاء بطاقة تمزقت بغير انتظام لإعادتها لشكلها الأصلي.

ولعل أهم مشكلة تجابه أية نظرية تستند على الزحزحة هي تعليل الحركات الفعلية للكتل القارية. والواقع أنه قد تبين أنه من السهل على المشتغلين بعلوم الرياضة والطبيعة أن يبرهنوا على أن القوى التي يقترحها مبتكروا النظريات ويرجعون إليها أسباب الحركات الأرضية غير كافية. ونظرية فيجنر هي الأخرى لا تشذ في ذلك عن غيرها. وقد افترض فيجنر اتجاهين رئيسيين لتحرك الكتل القارية: اتجاهاً نحو خط الاستواء واتجاهاً آخر نحو الغرب. وهو يرى أن قوة الطرد هي التي دفعت بالكتل القارية نحو خط الاستواء. وقد تبين أن هذه القوة لا تتعدى جزءين أو ثلاثة أجزاء من المليون من قوة الجاذبية. أما القوة الأخرى التي أدت إلى تزحزح الكتل القارية نحو الغرب فهي قوة المد التي تنشأ عن جذب الشمس والقمر للأرض، فقد تستطيع تلك القوة أن تجذب قشرة الأرض، وتجعلها تتحرك فوق الطبقات الداخلية نحو الغرب. ومن الممكن أن يزداد تأثير تلك القوة لو افترضنا أن حركة دوران القمر كانت أسرع في غابر الزمن منها في الوقت الحاضر، وهذا ممكن. وعلى الرغم من هذه القوة هي الأخرى ضئيلة جداً كقوة الطرد، إلا أنه يقال إن عامل الزمن له أهميته، فلو حدث واستمرت تأثيرات تلك القوى على مدى فترات طويلة لاستجابت الكتل القارية لها وتحركت صوب الغرب ونحو خط الاستواء.

وقد اقترح شفيدر Schweder قوة ثالثة تستند أساساً على نظرية إمكان تحرك وانتقال محور الأرض. وهذه النظرية لم تُشر في أصولها إلى تزحزح الكتل القارية. ولكن إذا أمكن لها أن تسمح بذلك، فإنه ينبغي

التمييز حينئذ بين محور كتلة قارية ومحور دوران الأرض ككل. ويبدو أن مثل هذه الكتلة قد تدور حول محور منحرف عن محور الدوران العادي للأرض. وينشأ عن ذلك- كما يرى شفيدر- قوى تدفع بالقارات نحو الغرب ونحو خط الاستواء.

هذا ويتفق معظم الباحثين على أن كل هذه القوى من الضعف بحيث لا تستطيع إطلاقاً أن تؤدي إلى تزحزح القارات. والواقع أن القوى التي افترضتها جميع نظريات الزحزحة غير كافية. ومع هذا لا ينبغي أن يكون جهلنا بتلك القوى سبباً في اعتقاد البعض بأنها غير موجودة. وحينما نتعرض بالدراسة لحركات الكتل القارية كما يراها فيجنر، ينبغي أن نعرف أنه يعتقد أن القطبين لم يكونا دائماً في نفس المواقع بالنسبة للكتل القارية، وهو يرى أن تحرك كتل السيال خلال السيما قد أدى إلى تكوين المرتفعات. ولما كانت مواقع القطبين بالنسبة للقارات قد تحركت من مواضعها من وقت لآخر، فإننا نستنتج أن تكوين سلاسل الجبال في عصر أو في آخر لا تشير بالضرورة إلى نظام التوزيع الجغرافي الحالي للمرتفعات، ولكنها تشير إلى التوزيعات السابقة للقارات بالنسبة للقطبين في مختلف العصور. وإنه من الصعب أن نتصور كيف يمكن لكتل السيال، أثناء تحركها خلال السيما، أن تتجعد عند أطرافها الأمامية وتنشيء الجبال. وتعتبر هذه هي الأخرى مشكلة تضاف إلى المشكلة الكبرى الخاصة بإمكان تحرك الكتل القارية خلال السيما. فالباحث ويلز Willis على سبيل المثال يجد أنه من الصعب أن نتصور كيف يمكن للضغط أن يكوّن مرتفعات الأنديز والروكي عن طريق زحزحة الأمريكتين نحو الغرب إذا كانت السيما أكثر صلابة Rigid من السيال. ومن جهة أخرى نجد أن بووي Bowie يرى أن السيما مادة مرنة فيحرمها من أية قوة Strength ، وهو لهذا لا يستطيع أن يتصور كيف

يمكن للسيال أن تتجمد على الإطلاق. فإنه لو تحركت كتلة قاره خلال السيما فإنها قد تعمل في البداية على تجعيدها، ولكن بسبب ميل السيما إلى التدفق نظراً لمرونتها، فإن مثل هذا التجعد ما يلبث أن يستوي. أما كتلة السيال نفسها فقد لا يصيبها أي تجعد إذا ما تحركت حركة بطيئة. ولما كان وجود سلاسل المرتفعات بالفعل ينفي مثل هذه الآراء، فإن فان دير جراخت Van der Gracht قد افترض لتفسير هذا التناقض، أن الطبقات العليا من السيما أسفل المحيطات تتميز بقوة تقاوم تحرك كتل السيال فتؤدي إلى إلتوائها وتكوين الجبال عند أطرافها.

وقد تقدم هولمز Holmes بافتراض آخر لتفسير تكوين سلاسل الأنديز والروكي عن طريق التزحزح القاري، فهو يرى أن تكوين الجبال لم ينشأ نتيجة لاصطدام كتل السيال المتحركة بطبقات السيما، وإنما قد نشأت بسبب انضغاط الرواسب المتراكمة في نطاق حوض بحري كان يقع إلى الغرب من الأمريكتين.

هذا ويؤمن فيجنر بفكرة تغير مواضع القطبين وخط الاستواء من عصر لآخر كما سبق أن ذكرنا. فهو يرى أن القطب الشمالي كان يقع في العصر السيلوري حوالى التقاء دائرة عرض ١٤° شمالاً بخط طول ١٢٤° غرباً، وفي العصر الفحمي عند التقاء دائرة عرض ١٦° شمالاً بخط طول ١٤٧° غرباً، وفي الزمن الثالث حوالى التقاء الدائرة العرضية ٥١° شمالاً بخط طول ١٥٣° غرباً.

وطبيعي أن تتغير مواقع القطب الجنوبي وخط الاستواء أيضاً بما يتناسب مع انتقال موضع القطب الشمالي في مختلف العصور. وحينئذ ينبغي أن تتزحزح الكتل القارية صوب الغرب وتجاه خط الاستواء لتتخد لنفسها

مراكز تتلاءم مع تغيير مواضع القطبين وخط الاستواء. ومن ثم تحركت كتلة الأمريكتين نحو الغرب فنشأت سلاسل الروكي والأنديز. أما نطاق السلاسل الألبية في أوربا وآسيا فقد تكون بسبب تزحزح الكتل القارية صوب خط الاستواء الذي كان يقع في الزمن الثالث- حسب ما يرى فيجنر- على طول امتداد النطاق الألبي الحالي، وقد نشأت سلاسل المرتفعات الهرسينية هي الأخرى نتيجة لتحرك كتل قارية نحو خط الاستواء الذي كان يقع في العصر الفحمي على طول امتداد النطاق الجبلي الهرسيني الحالي.

وتختلف أقواس الجزر في شرقي آسيا اختلافاً كبيراً في تكوينها عن تكوين سلاسل الأنديز والروكي في الجانب المقابل لها من المحيط الهادي. فهي تدين بنشأتها- حسب ما يرى فيجنر- إلى تزحزح قارة آسيا تجاه الغرب، وانفصال تلك الأقواس عن كتلة القارة بسبب التحام جذورها بقاع المحيط الصلب. وبنفس الطريقة يفسر فيجنر نشأة جزر الهند الغربية وقوس جزر الأنتيل الجنوبية بين تيبرا ديل فويجو Tiera del Fuego وأنتاركتيكا. وتفسير فيجنر لنشأة هذه الجزر يختلف اختلافاً كبيراً عن التفسيرات التي تقدم بها كتاب آخرون. فعلى سبيل المثال يرى جولي Joly أنها تكونت نتيجة للضغوط التي نشأت في المحيط عند أطرافه، ويرى آخرون أنها نشأت من عمليات الانزلاق من كتلة آسيا المرتفعة بطرق متباينة بعض الشيء يعرضها ديلي Daly وأرجاند Argand، وسويس Suess.

ولقد تعرض فيجنر أيضاً لتفسير بناء بحر باندا Banda ومجموعة الجزر التي تكتنفه، فهو يرى أن شدة انحناء قوس باندا الجزري وأعماقه ترتبط بتزحزح كتلة غينيا الجديدة نحو الغرب وصوب خط الاستواء، وقد

تسببت هذه الحركة أيضاً في دوران جزيرة بريطانيا الجديدة New Britain وجعلتها تلتوي في شكل نصف دائرة. وهو يعتبر جزيرة غينيا الجديدة جزءً من كتلة القارة الأسترالية، أما التواءاتها الحديثة التي تقع في أجزائها الغربية فيعزوها إلى تحرك السيما تجاه الشمال الغربي.

وليست بنا حاجة إلى مناقشة إمكان إعادة بناء بانجايا عن طريق ضم القارات الحالية إلى بعض لتتناسب مع أبعاد تلك القارة، فالخرائط المرفقة (أشكال ١٨٤- ١٨٥- ١٨٦) توضح الشكل العام لتلك القارة إذا زحزحت الكتل لتلتحم ببعضها. وهناك نقطة أو نقطتان تصح الإشارة اليها. فكتلة الهند ترى ملتصقة بجزيرة مدغشقر وقارة افريقيا. ولكي تلتحم تلك الكتل ببعضها كما نراها في خرائط فيجنر فإن كتلة الهند الحالية ينبغي أن تتحرك صوب الجنوب مسافة كبيرة جداً، وحينئذ ينبغي أن تنفرش تكوينات جبال الهيمالايا تحت مياه ضحلة مكونة لحوض بحري داخلي، وبالمثل إذا أردنا أن نتصور ما كان عليه الحال قبل تكوين مرتفعات الألب، فإننا ينبغي أن نفترض أن البحر المتوسط الحالي كان أعظم اتساعاً، وكانت تكوينات جبال الألب تنتشر فيه تحت مياه ضحلة.

وقد فسر فيجنر نشأة المحيط الأطلسي عن طريق قوى الشد التي تولدت نتيجة تزحزح الكتل القارية نحو الغرب. فهو في رأيه عبارة عن أخدود بحري عميق، أخذ يزداد اتساعاً وعمقاً بتحرك كتلة الأمريكتين نحو الغرب بعيداً عن كتلة أفريقيا، ولم يكتمل شكله الحالي إلا بعد إنتهاء عصر البلايوستوسين.

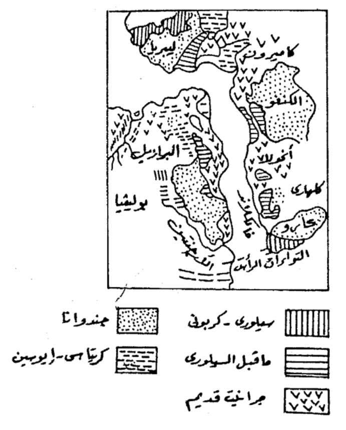
وقد حاول فيجنر أن يلصق الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية بالساحل الغربي لقارة أفريقيا، لكن تبين أن هناك فرقاً يبلغ ١٥° بين مقدار الزاوية

المحصورة بين ضلعي خليج غينيا، ومقدار الزاوية المحصورة بين ساحلي البرازيل الشمالي والشرقي. ومع هذا فلو تجاوزنا عن هذا الفرق، وأجزنا إنطباق ساحل أفريقيا على ساحل أمريكا الجنوبية لأمكننا تفسير التشابه في عديد من الظاهرات الفيزيوغرافية على كلا الساحلين، هذا على الرغم من وجود اختلافات في التفاصيل.



(شكل ١٨٧) تلاصق الكتل القارية قديماً كما تراها نظرية الزحزحة.

ومهما يكن من شيء فإن دي توات de Toit الذي قام بدراسة جيولوجية لأمريكا الجنوبية والقسم الجنوبي من أفريقيا على الخصوص قد أشار إلى تشابه كبير بينهما، ورأى أن تفسير هذا التشابه يبدو وشيكاً على أساس نظرية الزحزحة وفضلها على النظريات الأخرى.



(شكل ١٨٨) تشابه التكوينات الجيولوجية في قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية.

ولكنه لم يدمج الكتلتين ويلصقهما تماماً فقد اكتفى بتقريبهما من بعض بحيث تفصل بينهما فجوة يبلغ اتساعها بين ٤٠٠ - ٨٠٠ كيلومتر. وتتلخص أوجه الشبه في جيولوجية الكتلتين القاريتين كما يراها دي توات فيما يلي:

أولاً: التشابه الجيولوجي بين المنطقة من أمريكا الجنوبية الواقعة إلى الجنوب من باهيا بلانكا Bahia Blanca والمنطقة من جنوب أفريقيا التي تقع جنوب زوبيرج Zuuberg.

(أ) يتميز القسم الأعلى من العصر الترياسي في كلا المنطقتين بالآتي:

١ - شيوع النشاط البركاني.
٢ - عدم توافق طبقاته مع تكوينات العصر البرمي والطبقات التي تأثرت بالحركات البرمو- ترياسية.

٣ - تأثره بالاضطرابات الأرضية التي حدثت في أوائل العصر الكريتاسي.

٤ - تغطيه تكوينات العصر الكريتاسي الأعلى وتكوينات الزمن الثالث.

(ب) القسم الأسفل من العصر الكريتاسي يحتوي على حفريات حيوانية متشابهة في بعض أجزاء كلا المنطقتين.

(حـ) تتميز المنطقتان بعظم سمك التكوينات البحرية التي أرسبت فوقها أثناء الزمن الثالث.

ثانياً: التشابه بين سلاسل المرتفعات التي تقع إلى الشمال من باهيا بلانكا وسلاسل التواءات الرأس في جنوب أفريقيا.

(أ) تأثر كلا المجموعتين من المرتفعات بالحركات الإلتوائية التي حدثت حتى العصر البرمي.

(ب) صخور كوارتزيت السييرادي لافينتانا Sierra de la Ventana تماثل في خصائصها (ليثولوجيا) الصخور الرملية المكونة لمرتفع تيبول Table Mountain.

(حـ) صخور التيلايت Tellite (تكوينات جليدية) في الأرجنتين وفي منطقة دويكا Dwyka متماثلة، يتلوها إلى أعلى في كلا المنطقتين صخور الشيل الداكنة.

(د) تكوينات الحصى عند حواف السييرادي لافينتانا تماثل تكوينات مستوى الحصى العلوي الذي ينتمي للزمن الثالث في منطقة الرأس.

ثالثاً: تضمحل إلتواءات جوندوانيدز Gondwanides إلى الشمال الشرقي من السيرا دي لافينتانا، ويظهر إلتواء آخر يمتد نحو الشمال الشرقي. ولهذه الظاهرات ما يماثلها في منطقة ناما كوالاند Namaqualand بجنوب أفريقيا.

رابعاً: يماثل توزيع التكوينات الكريتاسية وتكوينات الزمن الثالث في أنجولا توزيعها في إقليم سير جايب Sergipe. وإلى الداخل من أماكن توزيع تلك التكوينات في البرازيل توجد طبقات برمية وكربونية ملتوية، يحتمل مماثلتها لطبقات القسم الأدنى من حوض الكنغو.

خامساً: هناك تشابه واضح بين الطبقات الكريتاسية والإيوسينية التي ترتفع مكونة للهضبة التي تمتد بطول تخوم سيارا - بيايوهي Ceara-Piauhy، وبين طبقات من نفس العمر في النطاق الساحلي لداهومي وساحل الذهب والكاميرون.

سادساً: تظهر تكوينات العصرين السيلوري والديفوني ممتدة في اتجاه

جنوب الجنوب الغربي في الصحراء الكبرى الأفريقية. وفي اتجاه جنوبي غربي في غرب أفريقيا، وهي بهذا تنطبق على نفس نظم التكوينات المماثلة في حوض نهر الأمزون الأدنى.

ويرى دي توات أنه بالنظر إلى وضع ونظام توزيع الكتل القارية يمكن ملاحظة ما يأتي:

١ - أنه من المستحيل إيجاد اتصال فعلي تام بين خطوط السواحل المتقابلة للكتل القارية.

٢- أنه من الصعب الأخذ برأي فيجنر الذي يحبذ عملية ضم حواف الأرصفة القارية. إذ أن هناك اختلافات بين الأدوار التي تنسب إليها مختلف التكوينات المتشابهة التي سبقت الإشارة إليها. وأن هذه الاختلافات تبلغ درجة تتطلب لتفسيرها افتراض وجود فجوة واسعة نسبياً كانت تفصل بين قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية. وقد كان اتساع هذه الفجوة يتراوح بين ٤٠٠ و ٨٠٠ كيلومتر حسب ما يرى دي توات.

ولقد نشرت أبحاث دي توات عام (١٩٢٧) بعد ظهور نظرية فيجنر، ولهذا فإن كل التفصيلات الجيولوجية المقارنة قد عرفت فيما بعد، وقد آثرنا أن نذكر بشيء من التفصيل نتائج أبحاث دي توات، وأن نضرب صفحاً عن العموميات التي ذكرها فيجنر فيما يختص بسواحل جنوبي المحيط الأطلسي. ومما لا شك فيه أنه لو كانت تلك المعلومات التي ذكرها دي توات معروفة لدى فيجنر لكان في استطاعته أن يقوم نظريته بحيث تبدو أكثر صحة ودقة.

وقد قام دي توات في بحث لاحق (١٩٢٨)- بدراسة مقارنة بين الأقاليم

المعدنية Mineral Provinces في أفريقيا وفي أمريكا الجنوبية، ووجد كثيراً من أوجه الشبه مما يعزز التشابه التكتوني والاستراتيجرافي الذي سبقت الإشارة إليه.

هذا ولم يحاول فيجنر أن يدعي التحام ساحل الصحراء الكبرى الإفريقية بالساحل الأمريكي المواجه له، ويبدو من الخرائط التي رسمها أن المساحة المتداخلة بين الكتلتين القاريتين كانت تشغلها مياه بحر ضحل.

ولعل أهم ظاهرة تبدو في مجال المقارنة بين جانبي المحيط الأطلسي إلى الشمال من خط الاستواء، هي الصلة الواضحة بين الالتواءات الفارسكية في كل من أوربا وأمريكا الشمالية. فإذا ألصقنا القارتين ببعضهما فإن سلاسل هذه الالتواءات- التي تبعد الآن عن بعضها بعداً شاسعاً- تتحد على امتداد طول واحد تقريباً. ويرى فيجنر أن الالتواءات الكاليدونية في أوربا تجد لها إمتداداً في أمريكا الشمالية. ولكن هناك من يشك في وجود التواءات كاليدونية في أمريكا الشمالية. وإن كان بيلي Balley (١٩٢٨) يعتقد أن القسم من مرتفعات الأبلاش الذي يتاخم سهول نهر السنت لورنس يتبع حركة الالتواءات الكاليدونية.

وفي مقارنات أخرى يلصق فيجنر جزر هبريدا Hebrides وشمال اسكتلندا بشبه جزيرة لبرادور، ويقرر أن خط ظهور صخور النيس القديمة في المناطق الأولى يتمشى مع خط ظهور صخور مماثلة في لبرادور، ولكنه أخطأ حين ذكر أن خط ظهور النيس الاسكتلندية يتجه من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، إذ تبين أن اتجاهه من شرق الجنوب الشرقي إلى غرب الشمال الغربي. وقد استند في إمكان ضم جانبي المحيط الأطلسي الشمالي لبعضها أيضاً على أساس تشابه تكوينات في جزيرة سبتس بيرجن Spitzbergen

بأخرى في جزيرة جرينلندا، وعلى وجود صخور متداخلة متماثلة تنسب لما قبل العصر الكمبري في لبرادور بالقرب من رأس فيرويل Cape Farewell . ويرى بعض الباحثين أن التشابه الجيولوجي على جانبي المحيط الأطلسي لا يعني بالضرورة انفصال قارة أمريكا الشمالية عن قارة أوروبا وتزحزحها نحو الغرب، ويعتقدون أنه من الممكن تفسير هذا التشابه على أساس هبوط كتل قارية كانت تصل بين القارتين.

ويمثل العصر الجليدي الذي حدث في أواخر العصر الفحمي وتوزيع تكويناته مشكلة من أعوص المشاكل الجيولوجية التي حار العلماء في تفسيرها وقد اكتشفت آثار هذا العصر في سانتا كاتارينا Santa Catharina في البرازيل وفي جزر فالك لاند Falkland ، وفي هضبة الكارو Karroo ، في جنوب أفريقيا، وفي جزيرة الهند، وفي أستراليا. وإنه لمن الصعب تفسير هذا العصر الجليدي الواسع الانتشار على أساس التوزيع الجغرافي الحالي لليابس والماء. وعلى الرغم من أنه لا يمكن القول بأن فيجنر قد قدم تفسيراً نهائياً كاملاً لتلك المشكلة، إلا أنه ولا شك قد عرض اقتراحاً بالغ الأهمية يمكن أن يؤدي إلى حل معقول لها. فهو يرى أن القطب الجنوبي كان يقع في أواخر العصر الفحمي حوالى موقع مدينة ديربان Durban الحالية بناتال بجنوب أفريقيا، ومن هذا المركز القطبي يفترض فيجنر أن الجليد قد انتشر وبلغ امتداده إلى تلك المناطق المشار إليها، وهو يعتقد أن الغطاءات الجليدية قد غطت مساحة تقارن بالمساحة التي غطاها جليد الزمن الرابع.

وإلى جانب مناطق التوزيع السالفة الذكر، عثر أيضاً على تكوينات تيلايت Tillite تنتمي لذلك العصر الجليدي القديم في سلسلة السولت Salt Range في الهند وفي أفغانستان، وهي أراضي كانت تقع في أواخر العصر الفحمي- حسب ما يتضح من خرائط فيجنر- بعيداً عن خط الاستواء

بنحو ٣٠° عرضية فقط. وقد قرر شوخيرت Schuchert (١٩٢٨) وجود هذه التكوينات أيضاً في شمال غرب أفريقيا وفي ألاسكا، بل وفي منطقة بوسطون Boston بأمريكا الشمالية التي كانت تقع في أواخر العصر الفحمي حول خط الاستواء. وهنا تواجه نظرية فيجنر كثيراً من النقد لقصورها عن تفسير هذا التوزيع لتلك التكوينات.

ويرتبط بهذا العصر الجليدي وجود طبقات تحتوي على حفريات نباتية تسمى جلوسبتريس Glossoptris. ويفسر فيجنر توزيع هذه الحفريات النباتية بنفس الطريقة التي فسر بها توزيع تكوينات ذلك العصر الجليدي المصاحبة لها. ولكنه بعمله هذا قد ألحق الكثير من الضرر بنظريته. فإلى جانب مناطق وجودها في الهند وفى جنوب أفريقيا وفي أمريكا الجنوبية، وفي جزر فالك لاند، وفي أستراليا، وهي المناطق التي اعتبرها فيجنر وتناولها في نظريته بالتفسير، تبين أنها توجد أيضاً في ولاية كشمير وفي شمال غرب أفغانستان وفي شمال شرق إيران وفي سيبيريا، كما أشار البحاث الروس إلى العثور عليها أيضاً في شمال شرق الروسيا. وقد أغفل فيجنر ذكر مناطق التوزيع هذه في نصف الكرة الشمالي، مما حدى ببعض البحاث إلى الاعتقاد بأن تفسيره لتوزيع هذه الحفريات النباتية قد أصبح عديم القيمة.

وعلى الرغم من أن كثيراً من آراء فيجنر من الضعف بحيث تعرضت للنقد والاعتراض، إلا أنه لا يشك في أن الفضل يرجع إليه في الكشف عن الأفكار الحديثة الخاصة بتكتونية الأرض، ولهذا ينبغي أن تظل نظريته موضوعاً للبحث والمناقشة.

٥- نظرية المعابر البرّية

لقد هاجم بعض الباحثين المحاولات التي قام بها أنصار نظريات الزحزحة لتفسير التشابه في الظاهرات الجيولوجية على كلا جانبي المحيط الأطلسي هجوماً شديداً. ومن هؤلاء جريجوري Gregory الذي لخص في بحث صدر في عام ١٩٢٩ آراءه الخاصة بتاريخ نشأة المحيط الأطلسي. ولقد أخذ جريجوري بوجود عديد من المعابر البرية- التي سبق أن اقترحت من وقت لآخر والتي كانت تشغل في رأيه مكان المحيط الأطلسي- لتفسير توزيع الحفريات النباتية والحيوانية في العالمين القديم والجديد، وقال بأن المحيط الأطلسي قد نما عن طريق اتساع خلجان فسيحة بواسطة عمليات هبوط متتالية حدثت في الأراضي اليابسة، تلك الخلجان التي كانت تمتد من بحر تيثس Tythys الذي كان يفصل بين كتل قارية شمالية وأخرى جنوبية. وهو في هذا يأخذ بأفكار سويس Sues.

وتستند آراء جريجوري في معظمها على شواهد بيولوجية واستراتيجرافية، فالتكوينات الصخرية والحفريات النباتية والحيوانية المتماثلة على سواحل المحيط الأطلسي المتقابلة قد اتخذها دليلاً على وجود معابر برية سالفة، وليس على حدوث زحزحة في الكتل القارية.

ويعتقد جريجوري أن المحيط الأطلسي ما هو إلا محيط « حوضي » يقطع عرضياً عدة ظاهرات كسواحل الرياس Rias الأوروبية والأفريقية، والإلتواءات الكاليدونية في أسكتلندا واسكنديناره. ويرى أن الانكسارات التي أدت إلى هبوط الكتل القارية كانت موضعاً لنشاط بركاني عنيف خاصة في الشرق حيث حقول البازلت العظيمة في اسكتلندا وأيسلندا، وفي الجزر البركانية في الأجزاء الشرقية الوسطى من المحيط

الأطلسي. كما يعتقد أن الجزر الواقعة في جنوب هذا المحيط ما هي إلا بقايا لمساحات يابسة شاسعة سالفة (قارة جندوانا). فجزيرة سان باول St Paul التي تتركب من صخور البيريدوتيت Peridotite ما هي إلا جزيرة قارية. وتشير الطبقات الديفونية وطبقات الكارو Karroo في جزر فالك لاند إلى أصلها القاري أيضاً. وفي هذا يعارضه الباحث فون إيرنج Von Ihering الذي يرى أن تلك الجزر قد انفصلت عن أمريكا الجنوبية في عصر حديث جداً وهو عصر البلايوستوسين. ويعتقد جريجوري أيضاً أن جزيرة جورجيا الجنوبية South Georgea تبدو كجزء متخلّف من قارة أطلسية جنوبية قديمة، كان يغطيها بحر ضحل في أثناء عصر الأردوفيس، ثم ظهرت في الوجود أثناء العصر الديفوني، واستمرت ظاهرة فوق سطح البحر إلى أن غمر البحر قسماً منها في الزمن الثاني.

ويفترض المؤيدون لنظرية المعابر البرية هبوط وإغراق الكتل القارية لتفسير نشأة الأحواض المحيطية. وهنا نجد أنه لو كانت القارات تتركب من مواد سيالية أخف من المواد السيماوية التي تتركب منها قيعان المحيطات، فإن هبوط الكتل القارية ليبدو أمراً مستحيلاً، إلا إذا افترضنا ظروفاً معقدة يمكن أن تؤدي إلى الهبوط. وقد اقترح كل من جيفريز وهولمز وسائل معينة تمكن لهبوط الكتل القارية من أن يحدث، دون أن يتعارض ذلك مع الآراء الحديثة الخاصة بتركيب قشرة الأرض، ولكن اقتراحاتها لم تسلم أيضاً من النقد والاعتراض.

وهناك من الباحثين من يعتقد - ومنهم جريجوري - أن هناك من الحقائق الجيولوجية ما يناقض الرأي القائل بأن قشرة الأرض دائماً في حالة ارتباط توازني كامل. وقد تبين من نتائج الأبحاث التي قام بها العلماء في قاع البحر ما يخالف الرأي الذي يقول بأن قيعان المحيطات تتركب جميعها من

مادة ثقيلة متجانسة. معنى هذا أن الخلاف ما يزال موجوداً حول تركيب قيعان المحيطات، ومن ثم ينفتح المجال لإمكان هبوط الكتل القارية.

ويستند جريجوري في بحثه (١٩٣٠) عن نشأة المحيط الهادي على نفس الآراء الخاصة بمسألة هبوط الكتل القارية التي كانت تشغل- حسب ما يرى- معظم مساحته الحالية. وهو يتخذ من ظاهرة انتشار الصخور البركانية الحامضية كالرايوليت والوسيطة التركيب كالتراخيت في جزر المحيط الهادي، دليلاً يدمغ الإدعاء القائل بأن قاع المحيط الهادي يتركب كلية من صخور بازلتية قاعدية كثيفة.

والواقع أنّ عملية هبوط اليابس أمر ممكن، فهي ظاهرة نعرفها في هبوط الرواسب التي تتراكم في الأحواض البحرية الداخلية، ونشاهدها في مناطق الأخاديد العظيمة. ولكن الاستدلال على إمكانية الهبوط العامة للكتل القارية على أساس هبوط قيعان الأحواض البحرية يعتبر ضعيفاً، إذ أن تلك الأحواض تمثل مساحات تتراكم فيها الرواسب باستمرار ويزداد ثقلها وضغطها على القاع مما يؤدي إلى هبوطه. أما الكتل القارية أو المعابر البرية فهي على النقيض من ذلك إذ يمكن افتراض أنها تخف باستمرار نتيجة لتأثير عمليات النحت والاكتساح التي تصيبها بفعل تعرضها لعوامل التعرية.

هذا ولم يتأكد بعد إلى أي حد يمكن أن نعتبر هبوط الأرض على طول خطوط الانكسارات العظيمة دليلاً على إمكان هبوط الكتل القارية على نطاق واسع. فلقد نستطيع تفسير الانكسارات الرأسية على طول السواحل أو بعضها عن طريق مفاهيم نظريات الزحزحة، ولكن الشواهد التي نراها في الحاجز المرجاني العظيم في شرق أستراليا، والانكسارات العظيمة في

سواحل بيرو، لتدل على حدوث حركات هبوط قوية. وهناك العديد من الظاهرات الأخرى.التي تؤخذ دليلاً على عمليات الهبوط على نطاق واسع منها الجزر المرجانية التي توجد في المحيط الهادي حيث يبلغ سمك التكوينات المرجانية بضع مئات من الأمتار، على الرغم من أن شعاب المرجان لا تنشأ إلا في مياه ضحلة، وقد سبق لداروين Darwin أن علل تكوينها عن طريق الهبوط، وأيده في ذلك ديفز Davis وآخرون كل التأييد، عدا هذا فهناك الكثير من الجزر التي هبطت واختفت أرضها تحت مياه المحيط.

وتمثل نشأة المحيط الهادي مشكلة أكثر صعوبة وتعقيداً من نشأة المحيط الأطلسي. فهذا المحيط أعظم اتساعاً، وأوجه الشبه في التركيب الجيولوجي بين سواحله الغربية والشرقية تعتبر قليلة بالنسبة لما وجدناه على سواحل المحيط الأطلسي.المتقابلة. ولما كانت نظرية الزحزحة لم تتعرض لتفسير نشأته بشكله الحالي، فإنه لم يبق إلا أن نعتبره محيطاً ثابتاً. وقد ارتأى الكثير من البحاث أنه كان دائماً- باستثناء أجزاء من تخومه- محيطاً عظيماً شاسع المساحة.

ويتفق الجميع على أن المنطقة التي تقع إلى الشرق من الهند كانت أرضاً متصلة فيا مضى، وكانت أقواس الجزر التي تكتنف سواحل قارة آسيا قسماً منها، وكان اليابس الأسترالي يمتد شرقاً ليضم جزر فيجي Fiji وكاليدونيا الجديدة New Caledonia وزيلندا الجديدة New Zealand ، وكلها جزر قارية. ويرى بعض الباحثين أن كتلة الأمريكتين كانت أكثر امتداداً نحو الغرب، وعن طريق هذا الافتراض يفسرون كثيراً من الظاهرات الجيولوجية الاستراتيجرافية في القسم الشمالي الغربي من أمريكا الشمالية والنطاق الانكساري الساحلي في شمال غرب بيرو.

أما جريجوري فلا يرضى بمجرد حدوث اقتضاب في الكتل القارية عند حواف المحيط الهادي، فهو يذهب إلى القول بأن الشواهد الجيولوجية تشير إلى أن هذا المحيط كانت تشغله لعدة عصور بحار داخلية منعزلة تحيط بها كتل قارية. وكانت لتلك البحار في العادة إمتدادات رئيسية نحو الغرب وصوب الشرق. وفي بعض الأحيان كانت تستمر في إمتدادها عبر آسيا وأوروبا أو عبر أمريكا إلى المحيط الأطلسي لتكون بحراً متصلاً يفصل بين كتل قارية شمالية وأخرى جنوبية.

والواقع أن ثبات المحيط الهادي بأبعاده الحالية يعتبر أمراً غير محتمل، ولكن إذا استبعدنا تخومه الغربية بما فيها أقواس الجزر الآسيوية والأسترالية (حتى جزر فيجي)، وجازلنا أن نفترض حدوث انكسارات أدت إلى هبوط أجزاء من السواحل الغربية الأمريكية، حينئذ يمكننا أن نفترض ثبات باقي أجزاء هذا المحيط. ولكن نظرية الزحزحة- ولو أنها لم تتعرض لنشأة المحيط الهادي بأبعاده الحالية بطريق مباشر- تفترض أن الكتل القارية قد تزحزحت صوب محيط عظيم قديم تتمثل بقاياه الآن في المحيط الهادي. فهذا المحيط يمثل إذن كل ما تبقى من محيط العصر الفحمي الذي يسميه فيجنر بانثالاسا Panthalassa .

كما افترض هولمز في نظريته الخاصة بالتيارات الصاعدة محيطاً عظيماً سماه محيط ما قبل الهادي Pre-Pacific Ocean من هذا نرى أن لآراء جريجوري وجاهتها، ولكن المشكلات البينة التي تعترض طريق إمكانية هبوط الكتل القارية على نطاق واسع، والميل المتزايد بين الباحثين إلى الاعتقاد في نوع أو آخر من التزحزح القاري يجعلنا نرجىء الحكم على نشأة المحيط الهادي.

٦- نظرية النشاط الإشعاعي

لجولي

تستند نظرية جولي Joly عن تاريخ نشأة الأرض على افتراضات معقولة، كما أن مفاهيمها سهلة مبسطة لهذا فقد قوبلت لدى الباحثين بشيء كثير من الترحاب.

ويعتقد جولي كغيره من البحاث أن الكتل القارية تتركب من مواد سيالية أخف من المواد السياوية التي تتركب منها قيعان المحيطات. وتتركب مواد السيا أساساً من البازلت، وقد اتضح ذلك من دراسة تدفقات اللافا البازلتية العظيمة التي انبثقت إلى سطح الأرض أثناء عصور الزمن الثالث، وأيضاً أثناء العصور الجيولوجية الأخرى السابقة. فقد دلت نتائج الدراسات التي أجريت على عينات من البازلت أخذت من جهات قصية عن بعضها، أنها تتشابه فيا بينها في التركيب تشابهاً عظيماً. إذ وجد أن هناك تماثلاً في تركيب تكوينات البازلت في هضبة الدكن بالهند، وفي شمال غرب اسكتلندا، وفي إقليم أنتريم Antrim بشمال شرق إيرلندا، وفي حوض نهر سنيك بالولايات المتحدة الأمريكية، وفي هضبة الحبشة وفي غيرها من نطاقات اللافا البازلتية. ولما كانت كل هذه الغطاءات البازلتية طفحيّة النشأة، فإنه ليبدو- نظراً لتماثل تركيبها الكيائي- أنها جميعاً تتحد في أصل عام مشترك يقع في الطبقات السفلى من قشرة الأرض، تلك الطبقات ينبغي بناء على ذلك أن تكون بازلتية التركيب.

ويبلغ متوسط الوزن النوعي لكتل السيال التي تتركب منها القارات نحو ٢,٧ ، وهذا القدر يعادل تقريباً الوزن النوعى للصخورالجرانيتية. وتتركز

كتـل السيال على طبقة من السيما أكثر منها كثافة وثقلاً (الوزن النوعي للسيما حوالى ٣). وبحسب تعاليم نظرية التوازن لا بد أن تتعمق كتل السيال في طبقة السيما بقدر مناسب يحفظ لها توازنها. وإذا كان الوزن النوعي لكل من السيال والسيما هو ٢,٧ و٣ على التوالي، فإن كل وحدة من كتل السيال تظهر على السطح الخارجي للسيما لا بد أن يقابلها ثماني وحدات تتعمق أسفل ذلك السطح. وكلما ازداد ارتفاع كتلة قارية فوق سطح السيما كما هو الحال في سلاسل الجبال الإلتوائية الشاهقة، كلما ازداد تعمقها في تكوينات السيما بمقدار يتناسب مع ذلك الارتفاع، وقد استطاع جولي بعمليات حسابية أن يقدر سمك كتل السيال بحوالى ٣٠ كيلومترا، مستخدماً في ذلك أرقاماً عامة عن متوسط ارتفاع الكتل القارية فوق الطبقات السفلى التي يمثل سطحها مستوى قاع البحر العميق.

ويرى جولي أن أهم عامل يؤدي إلى تشكيل سطح الأرض هو النشاط المشع Radioactivity لمكونات الصخور، فكل الصخور تتميز بدرجة معينة من النشاط الإشعاعي الذي ينشأ عنه توليد قدر من الحرارة، بسبب استمرار التحطيم الذري لعناصر معينة أهمها عناصر الثوريوم Thorium واليورانيوم Uranium وتحولها إلى عناصر ذات ثقل ذري أخف. وتتميز صخور السيال بأنها أكثر نوعاً في نشاطها المشع من مواد السيما. وعلى الرغم من أن مقدار الحرارة الناشىء عن النشاط الإشعاعي صغير جداً، إلا أنه بالاحتشاد والتجمع على مدى ملايين السنين يصبح عظيماً وكافياً لإحداث تغيرات بينه في تركيب قشرة الأرض.

ولقد تبين أن الحرارة تزداد بالتعمق في باطن القشرة الأرضية، ويتضح ذلك جلياً في المناجم وفي الحفر العميقة. ولكننا لا نعرف إلى أي مدى وبأية درجة يستمر ازدياد الحرارة كلما تعمقنا تجاه مركز الأرض، كما

أننا نجهل حتى الآن كيف يؤثر الضغط المتزايد على ظروف الحرارة. ويعتقد جولي أن مقدار الحرارة الناجمة عن النشاط المشع لكتل السيال يزيد عن معدل ما تفقده تلك الكتل من الحرارة بالإشعاع من سطح الأرض. فإذا كان متوسط سمك كتل السيال يبلغ ثلاثين كيلومتراً، فإن درجة الحرارة عند قاعدة هذه الكتل ينبغي أن يصل إلى نحو ١٠٥٠°م. وإذا كانت الحرارة التي تنشأ عن النشاط المشع في كتل السيال تزيد عن معدل الفاقد من الحرارة بالإشعاع إلى سطح الأرض، فإنه لا ضرورة إذن لأن تشع حرارة من الطبقات السفلى (السيما) إلى الطبقات العليا (السيال) لتحل محل هذا الفاقد الحراري. وإذا صح وانعدم توصيل الحرارة من كتل السيما إلى صخور السيال، فإنه ينعدم حينئذ وجود تدرج حراري عند قاعدة الصخور القارية، كما يجب أن تكون درجة حرارة طبقات السيما هي الأخرى حوالى ١٠٥٠°م.

أما أسفل قيعان المحيطات فإننا نجد الظروف تختلف بعض الشيء. فهنا لا نجد كتلاً سيالية، وعلى هذا فإن أية حرارة تنشأ عن النشاط المشع في القسم العلوي من طبقات السيما قد تفقد نتيجة لاتصالها بمياه المحيط. ولكن مثل هذا لا يمتد تأثيره لأعماق كبيرة. فعند عمق معين تصل طبقات السيما إلى درجة من الحرارة تعادل درجة انصهار البازلت نتيجة للحرارة الناجمة عن نشاط عناصرها المشع. ومن ثم فإن أية طبقة تقع أسفل هذا العمق ينبغي أن تصل درجة حرارتها إلى درجة انصهار موادها، وتستطيع في نفس الوقت أن تحتفظ بحرارتها دون أن تفقد بالإشعاع إلى السطح. ودرجة انصهار البازلت تبلغ ١١٥٠°م، أي بزيادة قدرها ١٠٠°م عن درجة الحرارة التي أحصيت عند المستويات العليا من السيما.

وقد قدر الزمن اللازم لتجميع كل هذا المقدار من الحرارة التي تنجم

عن النشاط المشع بنحو ٣٢ مليون سنة على الأقل، وقد يصل ذلك الزمن إلى ٥٦ مليون سنة، إذا كان بازلت طبقات السيما يولّد الحرارة بسرعة لا تزيد عن سرعة توليدها بواسطة صخور هضبة الدكن وجزر هبريدا.

وحين تصل طبقات السيما إلى حالة الانصهار، تطرأ تغيرات عديدة هامة على قشرة الأرض. إذ تتمدد كتل السيما بسبب انصهارها، وهذا التمدد يعني أن قطر الكرة الأرضية يزداد، وبذلك ترتفع الكتل القارية بعيداً عن مركز الأرض في بداية الأمر، ثم بسبب انخفاض كثافة السيما- الذي ينشأ نتيجة لتحولها من حالة الصلابة إلى السيولة- تعود فتغوص في السيما السائلة إلى مدى أكبر. ويؤدي هبوط كتل السيال في السيما إلى طغيان مياه المحيطات على حواف الكتل القارية، ومن ثم تبدأ فترة طغيان البحر التي أثناءها تتراكم كميات عظيمة من الرواسب في المياه الضحلة.

وبهذه الطريقة تفسر نظرية جولي تكوين الأحواض البحرية الداخلية وتراكم الرواسب فيها التي تصيبها قوى الإلتواء فيما بعد فترتفع مكونة لسلاسل الجبال العظيمة.

أما في قيعان المحيطات حيث ينعدم وجود كتل سيالية أو حيث قد توجد طبقة رقيقة منها، فإننا نجد أنه حينما تنصهر المواد البازلية يزداد حجمها، وبالتالي تنتفخ قيعان المحيطات وتبتعد عن مركز الأرض، مما يؤدي إلى حدوث حركات شد تتسبب في إحداث شقوق وصدوع في تلك القيعان، فينبثق من خلالها صهير البازلت الذي يعمل حين خروجه على توسيع الشقوق والصدوع. وعن طريق هذه العملية تنشأ الجزر البركانية البازلتية التي تنتشر في مختلف المحيطات، كما يؤدي خروج اللافا إلى التنفيس عن صهير البازلت فتهبط حرارته ويأخذ في البرودة والتصلب.

وفي الوقت الذي تتحول فيه طبقات السيا إلى مادة منصهرة، تصبح القارات بمثابة كتل طافية فوق أساس سائل، وهذا من شأنه أن يساعد قوى المد التي تنشأ عن جذب الشمس والقمر للأرض على زحزحتها صوب الغرب. وحينا تتحرك القارات نحو الغرب تترك مواضعها، فينكشف الصهير البازلتي الذي كانت تغطيه، ويتعرض لتأثير مياه المحيط الباردة التي تحل فوقه محل القارات بعد تحركها، وهذا من شأنه أن يعمل على تبريده إذ يسلبه حرارته.

ويؤدي انخفاض درجات الحرارة على هذا النحو إلى عودة مواد السيا إلى حالة الصلابة. وطبيعي أن تبرد المستويات العليا من السيا أولاً، بينا ما تزال الأجزاء السفلى في حالة منصهرة، ولهذا نتوقع أن تتحطم كتل المستويات العليا التي بردت وتصلبت، وتهبط في مواد السيا السائلة التي تقل عنها في الكثافة، ومن ثم تتعرض الأجزاء السطحية من الصهير السياوي مرة أخرى للتبريد فتتصلب وتهبط، وهكذا تتكرر العملية حتى يتم تصلب مواد السيا.

وينجم عن عملية التبريد والتصلب أن يتناقص قطر الأرض ليعود إلى حالته الطبيعية. وهذا يعني أن تنضغط الكتل القارية تجاه مركز الأرض، وينشأ عن هذا التصلب أيضاً أن تزداد كثافة المواد البازلتية مما يتسبب في ارتفاع الكتل القارية المغمورة فيها، فتبرز عالية فوق مستوى المحيطات أكثر مما كانت أثناء مرحلة الإنصهار، ومن ثم تنحسر مياه المحيطات عن اليابس، فتختفي البحار الداخلية التي سبق أن تكونت فوق حواف القارات تاركة وراءها الرواسب التي قد تراكمت فيها. فالعودة إلى مرحلة الصلابة يعني - بناء على ذلك - بداية مرحلة انحسار مياه البحر.

وينشأ عن التبريد أن تنكمش المواد البازلتية المكونة لقيعان المحيطات، فتأخذ تلك القيعان في الهبوط نحو مركز الأرض، ويترتب على ذلك انبعاث ضغوط هائلة تعاني منها أطراف الكتل القارية. وتؤثر هذه الضغوط على الخصوص في التكوينات الرسوبية اللينة التي تراكمت عند حواف القارات أثناء فترة طغيان البحر فتلتوي مكونة للسلاسل الجبلية.

ويرى جولي أن عمليات التبريد وضغط قيعان المحيطات على أطراف الكتل القارية يبدأ قبل تمام تصلب المواد البازلتية بفترة طويلة. ومن ثم يمكن تفسير المرحلتين الرئيسيتين لتكوين الجبال: الأولى وهي مرحلة الإلتواء الذي ينشأ عن الضغوط الجانبية، والثانية تتمثل في حركة الرفع العامة للنطاقات الجبلية التي أصابها الإلتواء العميق، وتنشأ هذه الحركة نتيجة لتأثير قوى التوازن حين تتصلب المواد البازلتية. وتعتبر هذه المسألة من بين المسائل الهامة التي تتجنب مناقشتها وتفسيرها النظريات الأخرى عادة.

ويطلق جولي على الفترة التي تنحصر بين كل مرحلتي تصلب لكتل السيما إسم ثورة Revolution ، وهو يقدر الفترة اللازمة لتجميع الحرارة الكافية لانصهار المواد البازلتية ثم عودتها إلى التصلب بنحو ٥٦ مليون سنة. ولو صح هذا فإن مثل هذه الثورات ينبغي أن تكون منتظمة بمعنى أن تتساوى الفترات الزمنية المحصورة بين كل ثورة وأخرى خلال العصور الجيولوجية، ومن ثم فإنه ينبغي أن تكون فترات بناء الجبال دورية منتظمة.

ولقد أنكر كثير من البحاث تكوين المرتفعات في شكل دورات منتظمة، وذهب بعضهم إلى القول بأن بناء الجبال عملية دائبة ومستمرة.

والواقع أن المرتفعات يمكن أن تنشأ - متى توافرت ظروف تكوينها - في أي عصر دون تحديد. فالفترات الزمنية التي تفصل بين الحركات الإلتوائية المعروفة ليست متساوية، كما أن تكوين الجبال لم يكن يحدث أو يبدأ - على ما يبدو - في وقت واحد في كل أنحاء الأرض، ولهذا فإن جوهر النظرية الذي يتمثل في تكرار حدوث نفس الظروف الجيولوجية على فترات منتظمة متساوية تقريباً ليبدو واحداً من عيوبها الرئيسية. وتبدو النظرية في بعض جوانبها مقنعة، فهي لا شك تفسر كثيراً من ظاهرات سطح الأرض تفسيراً كافياً ووافياً. فهي تحقق المثل السائر بأن أعظم المرتفعات تواجه أعظم المحيطات، لكنها في نفس الوقت لا تعطي تفسيراً مقبولاً للاختلافات الواضحة بين سواحل المحيط الهادي وسواحل المحيط الأطلسي. فسواحل المحيط الهادي تتفق بلا ريب مع آراء جولي الخاصة بانكماش قاع المحيط وضغطه على الكتل القارية المحيطة به مكوناً لسلاسل جبلية تحف بأطرافها. أما سواحل المحيط الأطلسي فتتميز - على النقيض من ذلك - بظاهرات تشير إلى تأثرها بحركات شد أكثر من تأثرها بحركات ضاغطة.

ونحن نجد بصورة عامة أن النظم الرئيسية للمرتفعات في العالم تمتد من الشمال إلى الجنوب، ومن الشرق نحو الغرب. وإنه لمن الصعب تفسير إمتداد سلاسل الجبال التي تمتد من الشرق إلى الغرب بناء على نظام التوزيع الحالي لليابس والماء في ضوء نظرية جولي، ولكن حين نفترض وجود بحر تيثس في الزمنين الثاني والثالث، فإن نظام مرتفعات الألب والهيمالايا ليتفق تماماً مع تعاليم النظرية. أما أقواس الجزر في المحيط الهادي فقد فسرت النظرية نشأتها عن طريق انبثاق مواد السيما المنصهرة من خلال الصدوع والشقوق التي أحدثتها حركات الشد في قاع المحيط حينما بزد وانكمش.

ولقد تصدى جيفريز لنظرية جولي وهاجمها هجوماً عنيفاً في كثير من أخص خصائصها. فهو يعتقد أن جولي قد غالى كثيراً في تقدير سمك الكتل القارية. فقد قدر جولي هذا السمك بنحو ٣٠ كيلومتراً، بينما يرى جيفريز أنه لا يزيد على ١٦ كيلومتراً، وهو تقدير يتفق ونتائج الدراسات الزلزالية الحديثة. ويفترض جولي أن الكتل القارية تتزحزح تجاه الغرب بتأثير قوى المد أثناء مرحلة إنصهار السيما. ولقد أثبت جيفريز بعمليات حسابية أن تلك القوى من الضعف بحيث لا تستطيع أن تتسبب في تزحزح القارات بأي حال، ورغم هذا فإننا نجد أن الأدلة التي ساقها الكثير من البحاث للاستشهاد على إمكانية تزحزح القارات لتثير الشك في أي رأي يقول بعدم إمكانية الزحزحة، وإن جهلنا بالقوى التي يمكن أن تسبب الزحزحة لا يعني بالضرورة أنها غير موجودة.

٧ - نظرية انزلاق القارات

لديلي

لقد بنى ديلي Daly نظرية انزلاق القارات Sliding Continents على أساس قوى الجاذبية الأرضية التي تعمل على جذب قشرة الأرض، فتتحرك الكتل القارية كما لو كانت تنزلق على سطح منحدر. وهو بهذا لم يتعرض لقوى المد أو لقوى أخرى يمكن أن تعمل على زحزحة القارات. وينبغي هنا أن نشير إلى أن ديلي لم يعرض آراءه في صور حتمية قاطعة كما فعل غيره، إذ أنه قد تبين أن وضع آراء وحلول نهائية للمشاكل الخاصة بظاهرات سطح الأرض أمر غير مفيد.

ويرى ديلي أن اليابس في الأزمان القديمة كان يتكون من ثلاث كتل صلبة، كانت تتمركز عموماً حول القطبين وحول خط الاستواء. وبين هذه النطاقات الثلاثة من الكتل الصلبة كانت تقع أحواض منخفضة تشغلها بحار داخلية. ففي النصف الشمالي من الكرة الأرضية كان يقع بحر تيثس الذي كان يفصل بين نطاق اليابس القطبي الشمالي ونطاق اليابس الاستوائي. أما البحر الذي كان يفصل بين اليابس الاستوائي والأرض القطبية الجنوبية فلا يعرف عنه سوى القليل.

ويعتقد ديلي أن الكتل القارية كانت تتركز أثناء تلك الأزمان الجيولوجية القديمة في نصف واحد من الكرة الأرضية أو أكثر بقليل، فهو يفترض أن المحيط الهادي حينئذ كان يشغل منخفضاً ضخماً واسع الأرجاء. وهو يميز بصورة مجملة وعامة - بين نصفين من الكرة الأرضية آنذاك: نصف يابس ويسميه بانجايا Pangaea ، ونصف مائي يسميه بانثالاسا

Panthalassa ، وكان يشغله المحيط الهادي.

وتفترض هذه النظرية أن القشرة الأرضية البدائية قد تكونت فوق باطن الأرض المنصهر، وبسبب انخفاض حرارته وتقلصه، إلتوت أجزاء من القشرة المتصلبة إلى أعلى، وانخفضت أجزاء أخرى. فالنطاقات القارية والقطبية والاستوائية تمثل في نظر ديلي ثنيات محدبة في شكل قباب، أما المحيط الهادي والبحار الداخلية آنئذ فكانت تشغل الثنيات المقعرة أو الأحواض المنخفضة. ويستبين من هذا أن الكتل القارية وقيعان البحار كانت تتكون جميعاً من قشرة أرضية واحدة متماثلة.

وبديهي أن النصف اليابس كان أكثر ارتفاعاً من النصف المائي، ومن ثم نشأت «منحدرات» تجاه المحيط الهادي وصوب البحار الداخلية.

وعلى الرغم من أن قشرة الأرض موصلة رديئة للحرارة، إلا أن حرارة الباطن كانت تشع منها إلى الخارج باستمرار ولكن ببطء شديد، ولهذا فقد انكمش الباطن ليترك فراغاً بينه وبين القشرة الخارجية، فكان على القشرة أن تلائم نفسها مع الوضع الجديد، وهي في هذا لم تسقط فوق الباطن الآخذ في البرودة والتقلص لتتحطم، ولكنها كانت تميل إلى التجعد تحت تأثير ضغط الرواسب المتراكمة في الأحواض الداخلية وفي المحيط من جهة أخرى، إذ أن التكوينات التي نحتتها عوامل التعرية من الكتل القارية قد اكتسحت ثم تراكمت في أحواض البحار الداخلية وفي منخفض المحيط الهادي.

وتفترض النظرية أن قشرة الأرض قد أخذت تستسلم لتلك الضغوط الناجمة عن ثقل الرواسب وثقل مياه المحيط فهبطت إلى أسفل أي تجاه مركز الأرض. وقد نتج عن هذا الهبوط ضغوط جانبية ساعدت في حمل

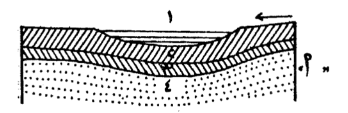
الكتل القارية القبابية الشكل المجاورة للأحواض البحرية والمحيطية، ونشأ عن ذلك أن خف ضغط تلك الكتل القارية عما يوجد تحتها من المواد البازلتية العظيمة الحرارة، فترتب على هذا أن تمددت تلك المواد وكبر حجمها، ومن ثم انخفضت كثافتها، فأخذت تندفع إليها مواد- من المناطق المجاورة التي تعرضت للضغط- أكثر منها كثافة لتعيد إليها التوازن.

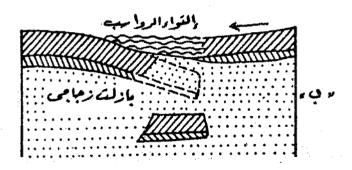
وإذا حدث ذلك واستمر دائباً فإن حجم المواد التي تقع أسفل الكتل القارية القبابية يتضخم، ومن ثم يعمل على رفع تلك الكتل إلى أعلى بالنسبة للمناطق المحيطة بها. ويحتمل أن حركة الرفع في الأطراف تكون أسرع نوعاً منها في وسط القبة. وعلى أي حال فإن القبة القارية ما تزال تحتفظ بشكلها؛ وعند أطرافها توجد رواسب الأحواض البحرية الداخلية التي نحتت واكتسحت من القبة ذاتها. ويترتب على ازدياد ارتفاع القبة القارية ازدياد الضغوط على تلك الرواسب، ويأتي الوقت الذي لا تستطيع فيه قشرة الأرض أسفل الرواسب أن تقاوم الضغوط عن طريق الهبوط فتتكسر وتهبط. وإذا حدث هذا فإن قسماً كبيراً من القاعدة الصلبة التي ترتكز عليها أطراف الكتلة القارية يختفي، فتحدث حركات شد عنيفة في القبة القارية، فتتكسر جوانبها إلى كتل ضخمة تنزلق بسبب ثقلها ببطء تجاه البحار الداخلية، ويترتب على انزلاقها صوب البحار أن تنضغط الرواسب المتراكمة على قيعانها فتلتوي، وبذلك تنشأ أولى المراحل في تكوين سلاسل الجبال. أما المرحلة الثانية فتتمثل في أن الأجزاء السفلي من التكوينات الرسوبية تتعرض للحرارة الشديدة- حين تتكسر قاعدتها الصلبة وتهبط- فتنصهر، ومن ثم تتمدد ويكبر حجمها فتضغط على الرواسب التي تقع فوقها إلى أعلى، وبذلك تتم العملية الرئيسية الثانية في رفع وتكوين الجبال.

ويرى ديلي أن الطبقات السفلى تتركب من مواد بازلتية شديدة

الحرارة؛ ومثل هذه المواد لا تقاوم انزلاق الكتل القارية إلا بقدر يسير، وهو يرى أيضاً أن تلك المواد تتميز بخاصية «الانزلاق»، ولما كان ديلي يعتقد أن مواد الطبقات السفلى أقل كثافة- بسبب شدة حرارتها- من مواد القشرة الخارجية المتصلبة، فقد يحدث حينما تتكسر القبة القارية أن تندفع كتل منها إلى أسفل وتغوص في الطبقات السفلى. وفي نفس الوقت نجد أن التكسر يسمح لمواد الطبقة السفلى من أن تشق لنفسها طريقاً أسفل رواسب حوض البحر الداخلي، وبالتالي تعطى الفرصة لعمليات انزلاق جديدة (شكل رقم ١٨٩: أ و ب). ولما كانت كثافة مواد الرواسب المتراكمة في البحر الداخلي أقل كثافة- كما يرى ديلي- من مواد الطبقة السفلى، فإنها لن تغوص أو تهبط فيها. ومن ثم فكلما ازداد انزلاق الكتل القارية كلما ازداد الضغط على تلك الرواسب البحرية.

وبالإضافة إلى تقلص باطن الكرة الأرضية وتأثيراته على قشرة الأرض. يرى ديلي أن تناقص سرعة دوران الأرض حول نفسها قد ساعد منذ البداية على تضرس سطح الأرض. ولكنه لم يحاول أن يتعرض لتفسير نشأة النطاقات القارية الثلاثة التي كانت تقع حول القطبين وحول خط الاستواء، كما أنه لم يذكر شيئاً عن كيفية نشأة البحرين الداخليين اللذين كانا يفصلان بينها. وهو يعتبر مثل هذا التوزيع لليابس والماء من قبيل الافتراض والتخمين. كما وأن الدور الذي تلعبه عوامل التعرية في نحت الرواسب من القباب القارية واكتساحها وإلقائها في البحار الداخلية، كما وصفه ديلي، يحتاج أيضاً إلى مزيد من الإيضاح والتفسير. وهنا نشير إلى التفسير الذي سبق أن اقترحه تشامبرلين Chamberlin في نظرية الكويكبات ومؤداه أن عوامل التعرية تستطيع على المدى الطويل أن تتسبب في تراكم المواد الثقيلة في الأحواض المنخفضة من قشرة الأرض، وتترك المواد الجرانيتية الخفيفة للكتل القارية المرتفعة.





شكل رقم (١٨٩ : أ، ب): انزلاق القارات كما يراه ديلي.
(أ) تراكم الرواسب القارية في حوض داخلي واستمرار هبوط قاعه.
(ب) انزلاق الكتل القارية، وتكسر قاعدة الحوض البحري، وهبوط قسم عظيم منها في الطبقة البازلتية الزجاجية، ثم إلتواء الرواسب.
١ - حوض بحري داخلي.
٢ - قشرة أرضية جرانيتية التركيب.
٣ - طبقة رقيقة من المواد البازلتية المتبلورة.
٤ - مواد بازلتية زجاجية.

وإذا صح وتأثرت هذه القارات القبابية التي وصفناها، فإنه ينشأ عن ذلك حركات انزلاق عامة لأجزاء تلك القارات نحو المحيط الهادي ونحو البحار الداخلية أيضاً. ولا شك أن نظرية ديلي بشكلها هذا تساعد على تفسير كثير من الظاهرات الرئيسية العامة لسطح الأرض فالتوزيع الحالي لنطاقات المرتفعات العظيمة يمكن تفسيره بالاستناد إليها. مثال ذلك نطاق

سلاسل مرتفعات الألب والهيمالايا الذي نشأ- بناء على هذه النظرية- عن إلتواء رواسب بحر تيثس بسبب الضغوط التي نجمت عن انزلاق أطراف القارة القطبية الشمالية وأطراف الكتلة القارية الاستوائية المقابلة لها، بينما قد تكونت المرتفعات التي تحيط بسواحل المحيط الهادي بسبب انزلاق كتل قارية صوب حوض ذلك المحيط وإلتواء الطبقات الرسوبية التي تراكمت فوق حوافه.

ويمثل المحيط الهادي في رأي ديلي المنخفض الذي انزلقت صوبه كتل قارية، فهو بشكله الحالي قد نشأ نتيجة للضغوط التي عاناها من إنزلاق تلك الكتل إليه. أما المحيطات الأخرى فقد نشأت نتيجة لتكسر القارات القبابية وانزلاق أجزائها نحو البحار الداخلية تاركة فيما بينها أخاديد واسعة هي التي تشغلها المحيطات الحالية. فالمحيط الأطلسي أخدود شاسع المساحة نشأ بسبب انزلاق كتلة الأمريكتين نحو منخفض المحيط الهادي. والمحيط الهندي يمثل الأخدود الذي نشأ عن انكسار قبة القارة التي كانت تكون نطاق اليابس القطبي الجنوبي. أما المحيط المتجمد الشمالي فيشغل مكان الأخدود الذي نشأ عن انكسار القارة القطبية الشمالية وانزلاق أحد جوانبها نحو بحر تيثس، وانزلاق الجانب الآخر صوب حوض المحيط الهادي.

ولا شك أن هذا التفسير لنشأة الأحواض المحيطية أفضل بكثير من التفسير الذي ارتآه جولي، إذ أنه يؤكد التناقض والاختلاف الكبير بين مختلف المحيطات، وهو واضح أيضاً بالنسبة للمحيط الهادي الذي ينفرد وحده من بين المحيطات بظاهرة إحاطة سلاسل المرتفعات الإلتوائية بسواحله. ونظرية ديلي تستبعد أيضاً مسألة هبوط المعابر البرية لتفسير نشأة المحيطات. فهي لا تفترض الهبوط والإغراق إلا لأجزاء يسيرة من كتل القارات.

ولم يحاول ديلي - كما فعل فيجنر - أن يصل سواحل المحيط الأطلسي الشرقية والغربية؛ فهو يعتقد أن التفسير الذي شرح به نشأة المحيط الأطلسي يكفي لتوضيح التشابه بين الظاهرات الجيولوجية التي توجد على جانبيه. هذا ويرى ديلي أن الحافة الغارقة التي تمتد بطول المحيط الأطلسي تمثل مكان انفصال العالم القديم عن العالم الجديد.

وترتبط نشأة الأقواس الجزرية عند سواحل شرقي آسيا بعملية زحف أو انزلاق تلك القارة صوب المحيط الهادي. وأمام هذه الأقواس نجد منخفضات عميقة Foredeeps . نشأت بسبب ضغط الأقواس الجزرية وهبوط الأرض أمامها استجابة لتلك الضغوط.

ونحن نعلم أن سطح الأرض غير متماثل، فهناك النصف المائي والنصف اليابس. وقد تعرض ديلي لتفسير النشأة الأولى لليابس والماء مقتفياً في ذلك أثر نظرية جينز وجيفريز، فهو يعتقد أن الكواكب ومنها الأرض قد انفصلت عن الشمس، وأخذت الأرض تبرد بعد انفصالها عن الشمس ككتلة غازية، وحين كانت تمر بمرحلة السيولة قبل أن تتصلب أخذت المواد في داخلها تترتب حسب كثافتها - بواسطة عاملي الجاذبية الأرضية ودوران الأرض حول نفسها - بحيث تزداد الكثافة بالتعمق نحو مركزها. ويرى ديلي أنه ليس هناك من سبب يدعونا إلى القول بتضرس قشرة الأرض البدائية حينما بردت وتصلبت، فقد كانت حينئذ مستوية ملساء. وهو يستند على آرائه الخاصة بانزلاق الكتل القارية كما وصفناه لتفسير تضرس الأرض وتوزيع اليابس والماء. وهنا ينبغي أن نشير إلى أن الكتل القارية القديمة أو الكتل الثابتة تتركب من كثير من الصخور التي أصابها الإلتواء، وفي هذا دلالة على حدوث انزلاقات قديمة مبكرة.

والواقع أن ثمة محاولة لتفسير تطور ونمو مظاهر سطح الأرض في الأزمان الغابرة ينبغي أن ينظر إليها في كثير من الحرص والتأمل. وهناك العديد من الاقتراحات في هذا السبيل، منها اقتراح يفترض أن التباين في مظهر سطح الأرض بين يابس وماء كما نشاهده في الوقت الحالي، ما هو إلا النتيجة النهائية لما كان عليه حال الأرض في داخلها من عدم التماثل حينما كانت كتلة غازية. وإذا افترضنا أن مرور الأرض من الحالة الغازية إلى مرحلة السيولة قد حدث بسرعة، فإنه ليبدو معقولاً ومقبولاً أن ترتيب المواد المتباينة الكثافة في جسم الأرض قد تم بشيء من عدم التناسق والانتظام. ومثل هذا يعني أن أغلفة الأرض وطبقاتها الداخلية لم تستطع أن تنمو في استواء وتناسق، مما أدى إلى عدم التماثل أيضاً في شكل سطح الأرض، وبالتالي إلى تركز اليابس في نصف من الكرة الأرضية، وشيوع الماء في نصفها الآخر.

أما الاقتراحات الأخرى فترتكز أساساً على آراء بعض الباحثين (منهم داروين G. H. Darwin) الخاصة بنشأة القمر، إذ أن اقتطاع جزء من جسم الأرض نفسها ليكون القمر ليعني بالضرورة حدوث عدم تماثل واضح في شكل سطح الأرض.

وعلى أي حال فإن أسباب عدم التماثل هذا أو بالأحرى توزيع اليابس والماء، لا تزال مجهولة حتى الآن. والأرض ما تزال بعيدة عن أن تكون في حالة توازن واستقرار، ولهذا فليس هناك ما يدعو إلى الرجوع بأسباب عدم التماثل في مظهر وجه الأرض إلى الأزمان السحيقة في القدم أو إلى مرحلة السيولة في تاريخ الأرض. وقد يبدو معقولاً أن نتصور أن قشرة الأرض البدائية قد هبطت وغرقت في أي من نصفي الكرة نتيجة لثقل أرض المحيط الأولى، وأنها قد ارتفعت في النصف الآخر من الكرة كرد

فعل للهبوط. ومثل هذا الرأي لا يعدو أن يكون هو الآخر مجرد افتراض محض.

ويحاول ديلي أيضاً تفسير التوزيع القديم الذي اقترحه لليابس والماء على أساس أنه ما دامت الطبقة العليا من قشرة الأرض تتركب من مواد جرانيتية ترتكز على طبقة بازلتية أكثر منها كثافة، فإن الكتل الجرانيتية قد تميل إلى أن تتجمع وتلتحم ببعضها فتطفو عالياً مكونة لليابس الذي يبرز ظاهراً فوق المحيط.

ويفترض ديلي أن اليابس كانْ يتركز في نصف واحد من الكرة الأرضية (قارة بانجايا)، أما النصف المائي فكان يشغله محيط واحد (بانثالاسا) وهو بهذا يعتقد أن تفسير التشابه البيولوجي والجيولوجي بين مختلف الكتل القارية على أساس نظريته يبدو أصح وأوضح من التفسيرات الأخرى التي وردت في مختلف النظريات. فقد كانت تلك الكتل اليابسة التي تبدو الآن متباعدة عن بعضها تتركز في نصف يابس واحد أو في قارة واحدة. وقد يبدو هذا صحيحاً من هذه الوجهة، ولكن ديلي لم يقدم دليلاً مقنعاً على صحة وجود قارة بانجايا نفسها وكيفية نشأتها.

ومع هذا فليس لدى الباحثين- بناء على الموقف العلمي الحالي- أي اعتراض خطير يوجهونه إلى افتراض وجود قارة بانجايا ومحيط بانثالاسا في الأزمان الغابرة، بل يمكن القول بأن وجودها كان محتملاً، وإذا صح وكانت الكتل اليابسة التي اقترحها ديلي في شكل قبابي، فإن الاستناد إلى قوى الجاذبية كعامل يؤدي إلى تحركها وانزلاقها ليبدو معقولاً، كما أنه يبدو أكثر احتمالاً من قوى المد التي اقترحها فيجنر وجولي لتسبب زحزحة القارات.

٨- نظرية التيارات الصاعدة لهولمز

تعتمد نظرية التيارات الصاعدة Convection Current Theory أساساً على ما يتولد من الحرارة في قشرة الأرض وما تحتها نتيجة للنشاط المشع الذي تتميز به العناصر المكونة للصخور.

ويعتقد هولمز Holmes أن قشرة الأرض تتركب من طبقات ثلاث هي: طبقة خارجية (يستثنى منها الصخور الرسوبية) تتركب من صخور الجرانو- ديوريت، ويبلغ سمكها بين ١٠ و١٢ كيلومترا. وطبقة وسطى تتركب من صخور الامفيبوليت، ويبلغ سمكها بين ٢٠ و ٢٥ كيلومترا؛ ثم طبقة سفلى تتركب من صخور الإكلوجيت Eclogite أو من صخور البيريدوتيت، وهذه تتميز بتبلور صخور قسمها العلوي بينما يتركب قسمها السفلي من مواد حارة «سائلة» أو زجاجية، وتختفي طبقة السيال العليا من قيعان المحيطات، أو قد توجد في شكل حطام غير متصل في قاع المحيط الأطلسي وأجزاء من قاع المحيط الهادي. ومن ثم فإن الطبقة السفلى يستمر وجودها ويتصل أسفل القارات والمحيطات.

وتستند هذه النظرية على إمكانية حدوث تيارات تصاعدية في الطبقة السفلى، ويتوقف هذا الافتراض أساساً على العناصر المشعة التي تدخل في تركيب الصخور، وبالتالي على ما ينبعث من الحرارة نتيجة للطاقة التي يطلقها التحلل الذري لتلك العناصر. وبالإضافة إلى عنصري الثوريوم واليورانيوم وهما عنصران مشعان رئيسيان نجد أن لعنصر البوتاسيوم هو الآخر أهمية كبيرة كمولد للحرارة بواسطة نشاطه المشع، نظراً لكثرة وجوده النسبي في الصخور، وإن كان أقل من غيره قدرة على التحلل.

ويبلغ متوسط كمية ما تفقده الأرض من الحرارة في السنة عن طريق التوصيل إلى السطح والإشعاع في الفضاء بحوالى ٦٠ كالوري بالنسبة لكل سنتيمتر مربع. ولما كان النشاط المشع يزداد ويتركز تجاه سطح الأرض فإن متوسط المفقود من الحرارة عن طريق الإشعاع من السطح يمكن تعويضه بواسطة المقدار من الحرارة الذي تولده قشرة أرضية سمكها ٦٠ كيلومترا. ويقول هولمز إنه لو أن كل كميات العناصر ذات النشاط المشع المعروفة كانت موزعة توزيعاً منتظماً ابتداء من سطح الأرض إلى عمق ٢٩٠٠ كيلومتر في داخل الأرض فإن كل القسم من الأرض أسفل عمق ٥٠ كيلومترا لا يمكن أن يتصلب.

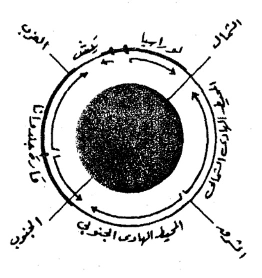
ويعتقد هولمز أن الطبقة السفلى تتميز بالنشاط المشع لدرجة معينة وأن طاقة هذا النشاط كافية لأن تجعل الطبقة السفلى في حالة تمكن للتيارات الصاعدة من أن تنشأ وتتولد فيها. ويستند اعتقاده هذا على أن ما يتولد في قشرة الأرض من حرارة بفضل النشاط المشع يتعادل مع ما تفقده هذه القشرة بالإشعاع. وإذا كانت هذه الافتراضات صحيحة، فيجب حينئذ أن يحدث نوع من الحركة في قشرة الأرض حتى يمكن إطلاق الكميات الزائدة من الحرارة.

وتبقى قشرة الأرض في حالة ثبات إلى أن يتعدى التدرج في ازدياد درجة حرارتها معدلاً حرارياً معيناً،هذا المعدل في ازدياد الحرارة بالعمق يقدر بنحو ٣°م لكل كيلومتر واحد. ووجود العناصر المشعة وما تولده من حرارة سيزيد من هذا المعدل، وبالتالي تشتد الدورة التصاعدية فتسمح للحرارة الجديدة بأن تنتقل بالسرعة التي تنشأ بها. وتتوقف هذه الدورة على عاملين: الأول: هو اختلاف سمك الطبقة السفلى عند المنطقة الاستوائية عنه عند المناطق القطبية. والثاني: هو الاختلاف في سمك

القشرة التي توجد فوقها والتباين فيما تحويه من عناصر ذات نشاط مشع.

ولما كان سمك قشرة الأرض عند المنطقة الاستوائية أكبر منه عند القطبين نظراً لانتفاخ الأرض عند النطاق الاستوائي، فإن التدرج الحراري بالعمق في النطاق الاستوائي يكون أعظم منه في المناطق القطبية. ومن ثم تنشأ تيارات تصاعدية تحت النطاق الاستوائي من قشرة الأرض. وتيارات هابطة أسفل قشرة المناطق القطبية (شكل ١٩٠).

وحين تبلغ التيارات الاستوائية قشرة الأرض فإنها تتوزع أسفلها نحو القطبين. فالتيارات التي تتحرك أسفل النطاق الاستوائي صوب القطب الشمالي تحمل معها وتدفع قشرة الأرض في نفس الاتجاه، أما التيارات



شكل (١٩٠): النظام العام المحتمل للتيارات الكوكبية.

لوراسيا = الكتلة القارية الشمالية القديمة. كانت تشمل أجزاء من أمريكا الشمالية (لورينشيا Laurentia) وأوروبا وآسيا.

جندوانا = الكتلة القارية الجنوبية القديمة. كانت تشمل كتلة أستراليا والهند وشبه جزيرة العرب وأفريقيا والبرازيل.

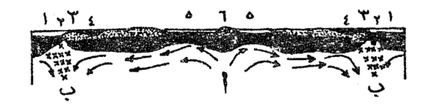
الاستوائية التي تتجه نحو القطب الجنوبي فتدفع بالأجزاء من قشرة الأرض التي تعلوها صوب الجنوب. ولما كان من الممكن افتراض أن الطبقات السفلى تتحرك بسرعة أكثر من الطبقات العليا فإن هذا يؤدي إلى حدوث تصدع في الطبقات العليا، ومن ثم تنكسر وتنفصل عن بعضها. وتتباعد الأجزاء المنفصلة نحو الشمال ونحو الجنوب مما يؤدي إلى تكوين نطاقات بحرية في الجهات الاستوائية. ويعتقد هولمز أن بحر تيثس قد تكون عن طريق هذه التيارات التي يسميها بالتيارات الصاعدة الكوكبية، ولكنه انكمش فيما بعد بسبب تيارات ثانوية معاكسة نشأت أسفل الكتل القارية (شكل ١٩٠)

هذا وينبغي أن نشير إلى أن تجمع الكتل القارية عند المناطق الاستوائية قد حدث في الأصل نتيجة لقوى يطلق عليها شتاوب R. Staub اسم قوى التباعد أو الهروب من القطبين Pohl-Flucht.

ولما كان النشاط الإشعاعي في الكتل القارية أعظم منه في المواد الصخرية الموجودة أسفل قيعان المحيطات، فإن حرارة ما تحت القشرة تزيد أسفل الكتل القارية عنها تحت قيعان المحيطات في نفس المستوى. ومن ثم فإننا نتوقع أن تنشأ تحت الكتل القارية تيارات صاعدة تؤدي إلى تحريك المواد المنصهرة وتوزيعها من نقط مركزية أسفل القارات، وتعمل على دفع أجزاء الكتل القارية نحو الأطراف أي نحو المحيطات (شكل ١٩١، ١٩٢). وبالمثل تتولد تيارات أخرى صاعدة- لكنها أقل عنفاً- أسفل قيعان المحيطات، وتتوزع هي الأخرى من نقط مركزية نحو الأطراف أي نحو الكتل القارية. وهذه تتقابل مع التيارات الصاعدة التي نشأت تحت الكتل القارية وذلك عند أسفل حواف تلك الكتل أي تحت الأرصفة القارية. وتحت هذه الأرصفة تهبط التيارات المتضادة إلى أسفل مكونة لتيارات هابطة. ولا شك أن نظم هذه التيارات مركبة وأنها تتكون حول عدة مراكز

تشع أو تتشعب منها صوب الأطراف.





شكل رقم (١٩١ و١٩٢):

شكل (١٩١): التيارات الصاعدة أسفل قشرة الأرض.

أ= تيارات صاعدة.

ب= تيارات هابطة- تكوين الإكلوجيت.

١ = محيط قديم.

٢ = كتلة قارية.

٣ = محيط قديم.

شكل (١٩٢): تكسر الكتلة القارية بتأثير التيارات الصاعدة.

أ= تيارات صاعدة

ب= تيارات هابطة- تكوين الإكلوجيت.

١ = محيط قديم.

٢ = منخفض.

٣ = أرض هامشية.

٤ = بحر داخلي.

٥ = محيط جديد.

٦ = حزيرة.

وحيث تصعد التيارات الناشئة أسفل الكتل القارية ثم تتوزع من نقط مركزية نحو الأطراف، فإنها تشد أجزاء هذه الكتل، ويؤدي هذا الشد إلى كسر الكتلة الأصلية ودفع شطريها في اتجاهين متضادين. ومن ثم يتكون حوض محيطي، أو قد ينجم عن قوى الشد هذه أن تستدق القشرة وتصبح رقيقة السمك مما يتسبب عنه هبوط ينشأ عنه محيط جديد. وبهذه الطريقة تتخلص الأرض من حرارتها الزائدة (أنظر شكل ١٩٢).

وحيث تتقابل التيارات الصاعدة الآتية من تحت القارات مع التيارات المعاكسة الآتية من أسفل قيعان المحيطات، ينشأ نطاق من الضغط العنيف، يترتب عليه ازدياد سمك المواد وارتفاع كثافتها مما يؤدي إلى هبوطها. وينشأ ارتفاع الكثافة من أن الضغوط التي تعانيها صخور الأمفيبوليت تؤدي (كما يحدث في عمليات التحول الديناميكي مع وجود الحرارة) إلى إعادة تبلورها وتحولها إلى صخور الإكلوجيت)، ومن ثم تزداد الكثافة من حوالى ٣ (في حالة الأمفيبوليت) إلى نحو ٣,٤ (في الإكلوجيت). وينجم على ازدياد كثافة المواد على هذا النحو- بالإضافة إلى قوى التوازن- هبوط ملحوظ من شأنه أن يزيد في سرعة التيارات الهابطة العادية. واستمرار هذا الهبوط عند حواف الكتل القارية يؤدي إلى تكوين بحار جديدة.

وتعمل التيارات الصاعدة الناشئة أسفل القارات على دفع المواد نحو الأطراف. وهذا يؤدي إلى زيادة سمك طبقات السيال عند حواف القارات بسبب التمايز الذي يحدث في دفع مختلف طبقات القشرة، مما يؤدي إلى تراكم الأجزاء العليا السيالية عند أطراف الكتل القارية فيرتفع مستواها وتتكون الجبال. ونظراً لأن جذور هذه الجبال تتركب من مواد أخف من مواد الطبقة السفلى فإنها لا تستطيع أن تغوص فيها، ولهذا فإنها تنصهر، وينشأ

عن ذلك نشاط ناري يحتمل أنه من طابع النشاط الناري الطفحي حول سواحل المحيط الهادي.

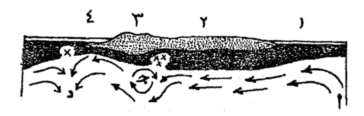
ويعتقد هولمز أنه بذلك قد تفادى الصعوبة التي تواجهها النظريات الأخرى التي تفسر تكوين الجبال على أساس نمط من أنماط الزحزحة. ومؤدي هذه الصعوبة أنه لو كانت الطبقة السفلى لينة وبالتالي أضعف من كتل السيال المتزحزحة فإن الإلتواء لا يمكن أن يحدث، وإذا كانت الطبقة السفلى أقوى من كتل السيال فإن الزّحزحة لا يمكن أن تتم. ومن ثم يرى هولمز أن تكوين الجبال يحدث نتيجة للتدفق الصخري الذي يتحرك بسبب التيارات التي تسير أسفله؛ هذا التدفق الأفقي الذي يحدث لكتل الصخور يكون أعظم في مؤخرته منه في جبهته. وتؤدي حرارة التيارات الصاعدة تحت القارات إلى صهر الطبقة المتبلورة. وفي البداية تنصهر طبقات البيريدوتيت ثم يعقبها انصهار الأمفيبوليت. وقد يؤدي هذا إلى حدوث براكين، فتنبثق المواد وتطح على سطح الأرض، ولكن القسم الأعظم من المواد المنصهرة يتحرك في تيارات تأخذ طريقها إلى الأطراف حيث يتكون الإكلوجيت أي حيث يحدث الهبوط.

وعند النطاق الذي تهبط فيه التيارات أي عند حواف القارات تهبط الأرض مكونة لبحر داخلي. ويمتلىء هذا البحر بالرواسب التي تنحتها عوامل التعرية من الكتل القارية فيؤدي ثقلها وضغطها على القاع إلى زيادة الهبوط. ولما كان هذا الهبوط يحدث في المنطقة التي تلتقي عندها التيارات الصاعدة أسفل الكتل القارية والتيارات المتحركة تحت المحيطات، فإن منطقة البحر الداخلي وما فيها من رواسب تتعرض لضغوط جانبية تستجيب لها المواد الرسوبية فتلتوي إلى أعلى مكونة لسلاسل المرتفعات،

ومن أمثلة هذه البحار الداخلية ما نجده في شرقي آسيا حيث نجد المرتفعات تمتد في أقواس الجزر التي تحصر بينها وبين كتلة شرقي آسيا بحاراً داخلية.

وبازدياد الضغوط تتكون جبال جديدة. وحينما يتم ذلك نجد أن جذور الجبال تندفع وتغوص في الطبقة السفلى بالمقدار الذي يتناسب مع ارتفاعها، فيؤدي هذا إلى ازدياد سرعة نقل الحرارة صوب حواف القارات، ويترتب على ذلك أن تواصل التيارات سيرها بعض الشيء قبل أن تهبط (شكل ١٩٣). وبهذا تصبح الجبال في غير الموضع الذي تتكون فيه مواد الإكلوجيت حيث يحدث الهبوط. ويرى هولمز أن حواف القارات تمط وتسترق حينئذ، فيؤدي هذا إلى هبوط جديد وإلى اختفاء واقتضاب حواف القارات.

وتتكون التيارات الصاعدة من مواد خفيفة نوعاً، بينما تتكون التيارات الهابطة



(شكل ١٩٣) اقتضاب حواف القارات وتكوين نظام جديد للتيارات أسفل جذور المرتفعات
أ- تيارات صاعدة.
حـ- نظام التيارات الجديد.
د- تيارات هابطة.
١- محيط.
٢- قارة.
٣- نطاق من سلاسل الجبال.
٤- حواف قارية غائصة.

من مواد كثيفة بسبب تكوين كتل الإكلوجيت على الخصوص أسفل الأرصفة القارية. وهذا من شأنه أن يشد من أزر دورة التيارات في أثناء عمليات الزحزحة، ويساعد تركيب قاع المحيطات على الوصول إلى نفس النتيجة أيضاً، نظراً لأن الطبقة الصخرية الأصلية فيه تستبدل بمواد أخرى أحر نابعة من أسفل. ولكن استمرار حمل الحرارة نحو الخارج بواسطة التيارات الصاعدة يؤدي في النهاية إلى توقف تكوين الإكلوجيت. وتوقف تكوين الإكلوجيت من شأنه أن يُضعف من قوة التيارات، ولهذا فإن نظاماً جديداً من التيارات ينشأ تحت جذور المرتفعات (شكل ١٩٣). وفي نفس الوقت نجد أن عملية تبريد قاع المحيط الجديد تؤدي إلى إضعاف قوة التيارات الصاعدة التي تنشأ أسفله. ومن ثم فإن نظام التيارات الأصلي (القديم) يتلاشى نهائياً وتحل محله مجموعة من التيارات المضطربة غير المنتظمة إلى أن ينشأ نظام جديد- يختلف عن النظام القديم- يتناسب مع الأوضاع الجديدة للكتل القارية. وحينما يتم نشوء هذا النظام الجديد تبدأ الكتل القارية في التحرك تجاه بعضها مرة ثانية.

وبناء على هذا فقد نشأ بحر تيثس نتيجة لفعل التيارات الصاعدة التي استطاعت أن تشطر كتلة قارية استوائية أصلية إلى شطرين، فنشأت فجوة بينهما شغلها ذلك البحر، ثم استطاعت التيارات الثانوية التي نشأت أسفل الشطرين أن تعمل على تحريكهما تجاه بحر تيثس مما أدى إلى انكماشه، وهذا يفسر تحرك قارتي أفريقيا وأوروبا واقترابهما من بعض، وبالتالي تقلص حوض بحر تيثس واقتضابه ليكون البحر المتوسط الحالي، وهو تفسير يأخذ به بعض الجيولوجيين.

ويعتقد هولمز اعتقاداً راسخاً في زحزحة القارات، وهو يؤمن بأن توزيع مخلفات العصر الجليدي الذي حدث في أواخر العصر الفحمي في جهات

متفرقة في أفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية، لا يمكن تعليله إلا بافتراض نوع من الزحزحة القارية.

وقد صور العالم في أواخر الزمن الأول على أساس وجود كتلتين قاريتين عظيمتين هما: قارة لوراسيا Laurasia وقارة جندوانا Gondwana وهو يرى أن القطب الجنوبي كان يقع حينئذ قرب موقع ناتال الحالية بجنوب أفريقيا. وكان يوجد بحر عظيم هو بحر تيثس، ومحيط أعظم منه اتساعاً هو المحيط الهادي. وقد حدث أن نشأت مجموعات من التيارات الصاعدة أسفل القارتين، ثم انتشرت وتوزعت صوب المحيط الهادي ونحو بحر تيثس (شكل ١٩٠).

ويرى هولمز أنه قد حدثت حركة زحزحة عامة للكتل القارية نحو الشمال، كانت كافية لدفع القسم الجنوبي من أفريقيا بعيداً عن المنطقة القطبية الجنوبية، ولدفع بريطانيا بعيداً عن المنطقة الاستوائية، إذ أن وجود التكوينات الفحمية في بريطانيا وفي أراضي أوروبا الشمالية يشير إلى أن خط الاستواء كان يمر بتلك الجهات أو بالقرب منها آنذاك. ولكي يتم هذا التزحزح العام يرى هولمز أن التيارات الصاعدة تحت قارة جندوانا كانت تنشأ حول مركز يقع قرب منطقة جبال الرأس الحالية بجنوب أفريقيا. أما التيارات الصاعدة أسفل قارة لوراسيا فقد كانت تتولد أسفل نطاق مرتفعات الأبلاش. ومن ثم يعتقد هولز أن اتجاه الزحزحة في نصف الكرة اليابس كان نحو الشمال بوجه عام، مما أدى إلى اقتراب قارتي أفريقيا وأوربا من بعضها (شكل ١٩٠) وقد ساعد على حدوث هذا الاقتراب تلك التيارات التي نشأت أسفل المحيط الأطلسي والمحيط الهندي بعد تكونها. وعلى الرغم من أن مثل هذه التيارات من شأنها أن تضغط على كتلة القارة الإفريقية في اتجاهين متقابلين (من الشرق ومن الغرب)، إلا أن هولمز يرى

أن النتيجة النهائية تتمثل في دفع وتحريك تلك القارة نحو الشمال.

ولقد استطاعت التيارات الصاعدة أيضاً أن تزحزح كتلة الهند نحو الشمال وتبعدها عن موضعها الجنوبي الذي كانت تقع فيه أثناء العصر الفحمي، ومن ثم تكونت مرتفعات الهيمالايا، كما نشأ المحيط الهندي.

ويرى هولمز أن زحزحة قارة أستراليا لمسافة كبيرة، يرجع إلى شدة التيارات الصاعدة التي نشأت أسفل المحيط الهندي، والتي لم يكن هناك ما يعرقل حركتها، إذ لم تقف أمامها كتلة قارية مثل الكتلة التي واجهت التيارات التي زحزحت كتلة الهند.

أما كتلة القارة الجنوبية (أنتار كتيكا) فلم تتزحزح لمسافة بعيدة، لأنها قد دفعت في مواجهة التيارات الصاعدة التي تولدت أسفل المحيط الهادي.

ويعتقد هولمز أن قارة لوراسيا وقارة جندوانا قد تمزقتا وانتشرت أجزاؤهما تجاه المحيط الهادي وبحر تيثس؛ ومن ثم تكونت سلاسل جبلية ضخمة حول حواف تلك الكتل المنفصلة. فقد نشأت حول أجزاء لوراسيا السلاسل الإلتوائية الحديثة في غرب أمريكا الشمالية وفي جزر الهند الغربية، كما تكونت أقواس الجزر في شرقي آسيا والقسم الشمالي من مجموعة سلاسل المرتفعات الألبية التي تمتد من جبل طارق في جنوب غرب أوروبا حتى شبه جزيرة الملايو في جنوب شرق آسيا، ويرى هولمز أن المحيط المتجمد الشمالي، والقسم الشمالي من المحيط الأطلسي ما هما إلا حوضان قد تكونا نتيجة لتمزق القارة الأصلية وهي لوراسيا وزحزحة أجزائها المحطمة بعيداً عن بعض.

وبالمثل تحيط بأجزاء قارة جندوانا سلاسل جبلية هي: سلاسل الأنديز

في فنزويلا، والكورديليرا التي تمتد في غرب أمريكا الجنوبية، ومرتفعات الأنديز في القارة القطبية الجنوبية، ومرتفعات نيوزيلندا ونيو جينيا، والقسم الجنوبي من النطاق الألبي الذي يمتد في قارة أوروبا وآسيا. وقد تكون المحيط الأطلسي الجنوبي نتيجة لزحزحة قارة أمريكا الجنوبية وابتعادها عن أفريقيا.

وقد استطاع هولمز عن طريق افتراضه لهذه الحركات المختلفة للكتل القارية تفسير التوزيع الحالي لمخلفات العصر الجليدي الذي حدث في أواخر العصر الفحمي، كما استطاع أن يعلل توزيع نظم السلاسل الإلتوائية الحديثة. وقد أهمل هولمز ذكر تفسير نظم المرتفعات الإلتوائية القديمة، على اعتبار أنها هي الأخرى قد نشأت نتيجة لحركات أقدم تميزت بطبيعة مشابهة لطبيعة الحركات التي كونت مثيلاتها الحديثة. ولا شك أن تفسير هولمز لتوزيع المخلفات الجليدية القديمة التي تُنسبُ لأواخر العصر الفحمي تفسير معقول، ولكنه يبدو غير كامل. فنظريته لم تتضمن تفسير توزيع الحفريات النباتية المعروفة باسم جلوسوبتريس Glossopteris في أفغانستان وسيبيريا وشمال روسيا، مثلها في ذلك مثل نظرية فيجنر.

ولقد اهتم هولمز بدراسة ظاهرات أخرى لسطح الأرض كالبحار الداخلية والكتل الوسطى والأودية الأخدودية، مما سنعرض له في دراسة الكتل المتحركة في فصل لاحق؛ وقد فسر هولمز نشأتها جميعاً بفعل التيارات الصاعدة، وتبدو بعض افتراضاته في هذا السبيل تصورية بحتة.

والنظرية في مجموعها لها قيمتها وأهميتها، وإن كانت تستند على عوامل وقوى لم يعرف الكثير عن كنهها بعد، إذ يشك في الوجود الفعلي للتيارات

الصاعدة، كما يشك في احتمال استطاعتها- إن وجدت- أن تحطم وتمزق الكتل القارية، وتدفع بأجزائها بعيداً عن بعض، ولعل أهم جوانب النظرية أنها تسمح بإمكانية افتراض تحركات الكتل القارية في اتجاهات لا حدود لها.

الفصل السابع

الكتل القارية القديمة

حينما نستعرض التاريخ الجيولوجي للأرض بصورة عامة، سنجد أن كثيراً من أجزائها قد تباين في نشوئه وتكوينه. وإذا ما تغاضينا عن التفصيلات سنجد أن القارات الحالية تتركب من كتل أو نوايات قارية قديمة، بقيت ثابتة أثناء فترات جيولوجية طويلة، ومن نطاقات تميزت بالحركة وعدم الثبات، وكانت مسرحاً لتراكم كميات عظيمة من الرواسب التي التوت ورفعت فيما بعد مكونة لسلاسل المرتفعات العظيمة. ومن ثم فإننا سنعالج بالدراسة في هذا الفصل تلك الكتل القارية القديمة. ثم نتبع هذا بدراسة أخرى للأحواض البحرية القديمة ولخطوط الكتل الرئيسية لنظم المرتفعات قديمها وحديثها.

١- فينو- سكانديا:

فينو سكانديا Fenno-Scandia تعبير أطلقته رامزي W. Ramsay (١٨٩٨) على المنطقة التي تشمل شبه جزيرة اسكندنياوه وفنلندا وشبه جزيرة كولا Kola وكاريليا الشرقية Karelia.

ويمكن تقسيم هذه المنطقة من الوجهة التكتونية إلى قسمين رئيسيين: القسم الأول يشمل النطاق الجبلي الغربي الذي نشأ أثناء فترة الالتواءات الكاليدونية، وسنعرض لدراسته فيما بعد. والقسم الثاني يشمل الكتلة البلطية.

الكتلة البلطية:

ويطلق عليها أيضاً تعبير كتلة السويد وفنلندا. وهي- مع كتلة الرصيف الروسي- تمثل النواة التي نمت حولها بالتدريج قارة أوربا الحالية. وهي كتلة قديمة ثابتة، يبدو تركيبها الجيولوجي الأركي واضحاً ظاهراً فوق مساحات شاسعة في تتابع تتكرر فيه الصخور التي أصابها الالتواء الكثيف وعمليات التحول الصخري بدرجة عظيمة، وينتهي هذا التتابع الصخري إلى أعلى بمجموعة من الصخور الرملية غير المتحولة والتي لم يصبها الالتواء إلا بدرجة طفيفة. وتتخلل الصخور جميعها تكوينات رملية متداخلة معظمها يتألف من صخور جرانيتية عميقة النشأة كما تغطي بعض أجزاء الكتلة صخور طفحية.

وقد تعرضت الكتلة لتأثير عوامل التعرية، فتحولت إلى سهل تحاتي فيما قبل العصر الكمبري، ثم طغت عليها مياه البحر أثناء عصور القسم الأول من الزمن الأول، فأرسبت فوقها تكوينات بحرية لم يبق منها سوى آثار ساعدت ظروف إرسابها في أحواض منخفضة منعزلة على حفظها، أو قد حمتها غطاءات طفحية من تأثير التعرية. وتتركب هذه الرواسب من تكوينات رملية أرسبت أثناء العصر الكمبري، وأخرى جيرية أرسبت في العصر السيلوري، كما توجد آثار قليلة لتكوينات رملية ديفونية. ومنذ نهاية العصر السيلوري تعرضت الكتلة لعوامل التعرية التي اكتسحت الغالبية

العظمى من الطبقات الرسوبية التي تنتمي للزمن الأول، كما استطاعت أن تصل إلى الأساس الصخري القديم، وتؤثر فيه تأثيراً بيناً. ولهذا فإن السهل التحاتي لا يمكن اعتباره- كما يرى بعض الباحثين- ممثلاً للسهل التحاتي الذي نشأ فيما قبل العصر الكمبري.

ويبدو أن الكتلة قد مرت بفترات عانت خلالها من حدوث انكسارات ساهمت أيضاً في تشكيل سطحها.

هذا وتتفق حدود الكتلة البلطية بصورة عامة مع خط البحيرات الذي يطلق عليه سويس تعبير خط بحيرات جلينت Glint Lakes ويبدأ هذا الخط من جهة الشرق من البحر الأبيض الروسي عبر بحيرتي أونيجا Onega ولادوجا Ladoga إلى خليج فنلندا. أما الحد الغربي للكتلة فيمتد تقريباً على طول حدود الالتواءات الكاليدونية الاسكنديناوية. ويمثل المحيط المتجمد الشمالي الحد الشمال للكتلة بحيث تدخل شبه جزيرة كولا ضمنها. أما في الجنوب فيمكن اعتبار البحر البلطي حداً لامتدادها في هذا الاتجاه هذا على الرغم من أن هناك تكوينات صخرية ترجع إلى عصور لاحقة للزمن الأركي ترتكز على الصخور القديمة، وتُوجد مبعثرة في مساحات صغيرة في جنوب السويد وحول مدينة أسلو عاصمة النرويج.

٢- كتلة الرصيف الروسي:

إلى الشرق من الكتلة البلطية تمتد كتلة قارية عظيمة الرقعة. تنتشر فوق ما يقرب من ٢٥ درجة عرضية. وتعرف هذه المساحة جغرافياً بسهل أوربا الشرقي، ويطلق عليها تكتونياً تعبير كتلة الرصيف الروسي؛ وتكون هذه الكتلة مع الكتلة البلطية أرضاً صلبة ثابتة، لم يصب تكويناتها

الاضطراب منذ عصور ما قبل الكمبري. ولهذا فإن الرواسب الحديثة -التي ترتكز على القاعدة الصخرية القديمة التي أصابها التحول والالتواء- قد تراكمت في شكل طبقات أفقية تكاد تكون مستوية، أو في شكل تموجات فسيحة ضحلة.

ولكن كتلة الرصيف الروسي تختلف عن الكتلة البلطية في أنها كانت- بسبب انخفاضها- بمثابة «رصيف قاري» Schelfregion، كثيراً ما طغت عليه مياه البحر. وهي لم تتأثر بطغيان البحر في أثناء عصور القسم الأول من الزمن الأول كالكتلة البلطية فحسب، وإنما غمرتها مياه ضحلة في عصور لاحقة أحدث منها بكثير. وبسبب انخفاض سطحها واستوائه أو قلة تضرسه ما تزال تلك الرواسب الحديثة باقية تغطي مساحات عظيمة على الرغم من أنها- على الأغلب- تختفي تحت غطاء من تكوينات العصر الجليدي البلايوستوسيني. وفي أثناء الفترات القارية التي كانت تفصل بين فترات طغيان البحر اكتسحت عوامل التعرية كميات عظيمة من تلك الرواسب، ومن ثم نشأت سهول تحاتية بقي بعض أجزائها قسماً من اليابس لم تغمره مياه البحر في العصور اللاحقة. ولهذا فإن سطح الرصيف الروسي الحالي يتألف من أجزاء تتباين في أعمارها.

ويبدو أن القسم الجنوبي من الرصيف الروسي قد تأثر في عصر متأخر نسبياً بعمليات انكسارية ترتب عليها هبوط جزء منه يقع إلى الشمال من بحر قزوين تحت منسوب البحر، بينما ارتفع قسمه الذي يقع إلى الشمال من البحر الأسود بعض الشيء. وقد تسببت حركة الرفع هذه في تجديد شباب الأجزاء الدنيا من أنهار الدون والدونيتز والدنيبير التي أخذت تنحت وتعمق مجاريها خلال الصخور فكشفت عما تحويه الطبقات من ثروة معدنية عظيمة كالحديد والفحم والمنجنيز.

هذا ويصعب تعيين حدود كتلة الرصيف الروسي بدقة نظراً لتراكم الرواسب التي تغطي الصخور القديمة التي تتركب منها. ومع هذا فيمكن القول بأن المحيط المتجمد الشمالي يحدها من جهة الشمال، كما تحدها من الشمال الشرقي جبال تيمان Timan التي تنتمي لحركة الالتواءات الكاليدونية، والتي تمتد من خليج تشيسكايا Cheskaya إلى مرتفعات الأورال. ويحدها من الشرق سلسلة جبال أورال الهرسينية النشأة. وليس من السهل تحديد الحد الفاصل إلى الجنوب من تلك الجبال، ومع ذلك فإننا نجد تتمة لمرتفعات أورال في جبال أوست يورت Ust Urt التي تقع بين بحر قزوين وبحر آرال. وتمثل سلاسل جبال القوقاز والكربات الحد الجنوبي للرصيف الروسي. ولقد التوت مرتفعات الكربات على أطراف تلك الكتلة. وتتضح مظاهر الزحف الالتوائي في حقل الفحم السيليزي. وليست هناك حدود فاصلة واضحة فيما بين البحر البلطي ومرتفعات الكربات.

ويبدو السهل الألماني- ظاهرياً- مكملاً للسهل الروسي، إذ أن الطبقات الرسوبية الحديثة التي تغطيها متماثلة، ولكن القاعدة التي يرتكز عليها السهل الألماني تتركب على ما يظهر من جذور صخرية هرسينية، بينما يتركب أساس الرصيف الروسي من صخور أركية.

ويمكن القول عامة أن كل السلاسل الجبلية التي تحيط بكتلة الرصيف الروسي والكتلة البلطية، سواء كانت كاليدونية أو هرسينية أو ألبية، قد التوت بسبب وجود هاتين الكتلتين ومقاومتها لقوى الزحف الالتوائي. ولقد أضافت كل حركة إلتوائية قسماً جديداً من اليابس، ومن ثم يمكن النظر إلى أوربا على أساس أنها قد نمت واتسعت مساحتها حول نواة قديمة- تتألف من الكتلتين الثابتتين- أثرت فيها عوامل العرية، وحولتها إلى سهل تحاتي فيما

قبل العصر الكمبري، ومنذ ذلك العصر أخذ البحر يطغى عليها من فترة لأخرى، ولكنها بقيت ثابتة لم تستسلم للقوى الالتوائية.

٣- كتلة سيبيريا (قارة انجارا):

إلى الشرق من جبال أورال الهرسينية النشأة يمتد القسم الآسيوي من الكتلة الأوروبية الآسيوية. وهنا تبرز صعوبات في تصنيف وتحديد أقسام هذه القارة. ومن وجهة النظر الجغرافية يمكن تمييز قسم ندعوه «شمال آسيا»، ويشمل كل الرقعة التي تنصرف مياهها نحو المحيط المتجمد الشمالي والتي تتميز بمناخ قاري متطرف، وتمتد شرقاً حتى المحيط الهادي، وتشمل شبه جزيرة كمتشاتكا. ولكن النطاقات الهامشية التي تمتد على طول ساحل المحيط الهادي تتميز بعناصرها التكتونية الحديثة، وتختلف بذلك عن الأراضي التي تقع إلى الغرب من بحر أخوتسك Okhotsk، وترتبط بالأقواس الجزرية في شرقي آسيا، ومن ثم يستحسن اتخاذ البناء الجيولوجي أساساً للتحديد. وفي هذا نأخذ برأي كوبر- الذي لم يسلم من النقد والاعتراض- في تمييز ما أسماه بكتلة سيبيريا Sipirische Tafel من شمال آسيا. وهي تشبه كتلة الرصيف الروسي في أنها تتركب من قاعدة قديمة جداً ترجع صخورها إلى ما قبل الزمن الأول. وتتميز هذه الصخور بتركيب إلتوائي سحيق في القدم، كما أن التحول قد أصابها بدرجة عظيمة. وفوق هذا الأساس الصخري ترتكز مجموعة صخرية أحدث تنتمي لعصور وأزمنة جيولوجية متباينة ابتداء من العصر الكمبري في الزمن الأول حتى الزمن الرابع. ومعظم هذه الطبقات الصخرية قد أرسبت في مياه ضحلة مما يدل على أن البحار قد طغت على الكتلة من عصر لآخر.

ويمكننا- من وجهة النظر الأوروجرافية والمورفولوجية- أن نقسم

الكتلة السيبيرية إلى قسمين متميزين يفصل بينهما نهر ينيساي Yenisei. ويتميز القسم الذي يقع إلى الشرق من ذلك النهر بمعاناته لحركة رفع حديثة، أما القسم الغربي فيتميز بانخفاض سطحه. وعلى الرغم من أن بناء قاعدة القسم الغربي غير معروف، إلا أنه ينبغي أن يكون قديماً، إذ أن افتراض بعض الباحثين اعتبار جزء كبير من قاعدة هذا القسم بمثابة امتداد لنطاق الالتواء الهرسيني الذي أنشأ جبال أورال، ينبغي أن يقتصر على النطاق الغربي المتاخم لتلك المرتفعات. ويتميز الإقليم المرتفع المحيط ببحيرة بيكال ببناء جيولوجي قديم أيضاً، ولهذا لا يمكن فصله تماماً عن الكتلة التي تقع في شماله.

وبناء على هذا يمكننا تحديد كتلة سيبيريا بشيء غير قليل من الدقة. فمن جهة الغرب تحدد جبال الأورال أقصى امتداد لها في تلك الجهة، ولكن الالتواءات الهرسينية يمكن اقتفاء أثرها إلى مسافة معينة أسفل السهل السيبيري، فالصخور الملتوية التي تنتمي للزمن الأول تشاهد في أودية الأنهار إلى الشرق من مرتفعات أورال. ومن ثم فإن الخط الذي يحدد تخوم الكتلة من هذا الجانب الغربي غير واضح تماماً. ويحد السهل السيبيري من الشمال تلال بيرانجا Byrranga التي تقع في شبه جزيرة تايمير Taimyr. ويحتمل أن هذه التلال قد نشأت أثناء حركة الالتواءات الكاليدونية، وهي ذات تركيب إلتوائي عادي. وإلى الشرق من نهر لينا Lena تمتد جبال فرخويانسك Verkhoyansk، وتنسب نشأتها لأدوار مبكرة من حركة الالتواءات الألبية، وهي تمثل حداً واضحاً للكتلة السيبيرية من جهة الشرق، أما في الجنوب فيحد الكتلة خط تقريبي يمتد من مدينتي كوستاناي Kostanai وتومسك Tomsk إلى مدينة كراسنويارسك Krassnoyarsk التي تقع قرب منابع نهر ينيساي، ثم عبر النهاية الجنوبية لبحيرة بيكال إلى

مدينة ياكوتسك Yakutsk التي تقع في القسم الأوسط من نهر لينا، ومن ثم يتبع هذا الخط تخوم المنطقة ذات التصريف الداخلي من وسط آسيا إلى قوس نهر آمور Amur . أما في الجنوب الغربي فإن الحد.يبدو غير واضح وغير مؤكد نظراً لوجود تكوينات رسوبية تنسب للزمنين الثاني والثالث، وهي تستر الصخور القديمة التي تتألف منها قاعدة الكتلة.

هذا وقد بقي القسم الغربي من سيبيريا أرضاً منخفضة فسيحة طوال العصور والأزمنة الجيولوجية. وقد كان مسرحاً لطغيان بحر تيثس منذ العصر الترياسي. وفي أواخر العصر الكريتاسي غزت مياه هذا البحر كل أراضي غرب سيبيريا، واتصلت مياهه بمياه المحيط المتجمد الشمالي،وفي نفس الوقت تراكمت طبقات أنجارا- وهي تتألف من تكوينات إرسابية قارية- عند حواف مرتفعات أورال الشرقية، وفي منطقة نهر لينا، وفي إقليم بحيرة بيكال. وقد أرسبت في أثناء الفترة التي تمتد من أواخر العصر الفحمي حتى نهاية العصر الكريتاسي، ولكن معظمها قد تراكم أثناء العصر الجوراسي.

ولقد بلغ طغيان البحر أوجه على غرب سيبيريا مرة أخرى أثناء عصر الإيوسين. فقد غمرته مياه البحر ابتداء من سفوح جبال أورال إلى حواف مرتفعات ألتاي، وتوغلت شمالاً حتى اتصلت بمياه المحيط المتجمد الشمالي. وفي عصر الأوليجوسين عاد البحر إلى التراجع، وانحسرت مياهه نهائياً عن الكتلة في أواخره. وفي نفس الوقت حدثت حركة رفع عامة للقسم الأوسط من سيبيريا. وبعد انحسار المياه عن غرب سيبيريا تحولت بعض أجزائه إلى أراضي بحيرية منها إقليم نهر إرتش Irtish، ونطاق السفوح الشمالية من مرتفعات جنوب سيبيريا. ولم تختف تلك البحيرات نهائياً إلا في أواخر عصر البلايوسين.

أما القسم الشرقي من سيبيريا فيختلف اختلافاً كبيراً عن قسمها الغربي. فهنا نجد الأرض أكثر ارتفاعاً، كما نجد الطبقات الصخرية التي تنتمي للقسم الأول من الزمن الأول عظيمة السمك والنمو والانتشار، ومعظمها إرسابات شاطئية أو رواسب مياه ضحلة. وتتميز تكوينات العصر الكمبري بعظم سمكها، ومعظمها جيرية، أما تكوينات العصر السيلوري فرقيقة نوعاً، وبعضها جيري وبعضها الآخر رملي، وتوجد هذه الطبقات الصخرية في وضع أفقي إلى حد كبير، فلم يحدث بها اضطراب تكتوني فيما عدا التخوم الجنوبية التي تأثرت بالالتواءات الكاليدونية. ويتميز هذا القسم أيضاً بكثرة وجود العيوب والانكسارات، ومنها حافة ينيساي وحافة أناربار Anarbar، وهما حافتان انكساريتان قديمتان ما تزال معالمها ظاهرة واضحة.

وتكثر الانكسارات أيضاً في إقليم بحيرة بيكال التي تعرف بأمفيتياترو إركوتسك Amphitheatre of Irkutsk نظراً لتميزها بانكسارات سلمية. وتحيط بهذا الإقليم أقواس جبلية ضخمة. ففي الغرب منه تمتد مرتفعات سايان Sayan، أما في الشرق فتقع مرتفعات بيكال. ويمثل هذا الإقليم في رأي سويس أقدم جزء في كتلة سيبيريا العظيمة، ولكن الجيولوجيين الروس ومنهم Obrutschew لا يميلون إلى الأخذ بهذا الرأي، فهم يعتقدون بأنه حديث قد نشأ في أوائل الزمن الرابع.

وتغطي السطوح البازلتية مساحات شاسعة من الكتلة السيبيرية الشرقية، ومعظمها ينتمي إلى العصر البرمي. وهي مع التكوينات الرسوبية التي تنسب للزمن الأول ترتكز على الأساس الصخري الأركي الذي تتركب منه الكتلة، وتجعلها تختلف بعض الشيء عن الكتلتين الكندية والبلطية.

وتشبه كتلة سيبيريا غيرها من الكتل القديمة في إحاطة المرتفعات

الالتوائية بمختلف جوانبها. فقد كانت هي الأخرى بمثابة النواة القديمة التي نما حولها قسم عظيم من قارة آسيا. فإلى الشمال منها تمتد مرتفعات الأورال الهرسينية، وتتاخمها في الجنوب مرتفعات ألتاي الهرسينية، وتيان شان Tien Shan الألبية، وتحدها من الشرق مرتفعات فرخويانسك التي التوت في العصر الكريتاسي.

٤ - كتلة الصين:

يرتبط القسم الشرقي من آسيا ارتباطاً وثيقاً بقسمها الأوسط، إذ يصعب التفريق بينهما من الوجهة الأوروجرافية. فهو مثله في معظمه أرض ثابتة لم تصبه حركة الالتواءات الألبية إلا بقدر يسير، إذ تكتنفه في نطاق هامشي. وكما سبق أن لاحظنا عند دراستنا لشمال آسيا أن حركة الالتواءات كانت تتقدم مع الزمن نحو الخارج أي نحو المحيط الهادي ، واستطاعت أخيراً أن تصيب الجزر والقوس الجبلي الساحلي.

ولقد أثبتت الدراسات الحديثة خطأ الاعتقاد القديم بوجود كتلة ثابتة قديمة تشمل كل شمال الصين من هضبة أردوس Ordos حتى شبه جزيرة كوريا التي تدخل ضمنها. فقد تبين أن أجزاء عظيمة من شمال الصين قد أصابها التواء في الزمن الثاني يعرف باسم التواء ينشان Yénshan ، حدث حسب ما يرى بعض الباحثين في دورين: الأول منها حدث فيما بعد العصر الجوراسي، وصحبه تداخل صهير جرانيتي، وختمته طفوح بركانية من البورفيريت والأنديزيت. أما الدور الثاني فقد تم فيما بعد العصر الكريتاسي. ويرى باحثون آخرون أن هذا الالتواء قد حدث في خمسة أدوار، أتصف آخرها بمميزات الإلتواءات الألبية.

وفي كوريا أيضاً تقع تكوينات الزمن الثاني غير متوافقة مع أساس من الصخور التي أصابتها التواءات منها الالتواء الهرسيني، ويبدو أن الدور الالتوائي الرئيسي الذي أصاب تكويناتها قد حدث في أوائل العصر الكريتاسي، ثم أعقبتها التواءات أخرى ثانوية.

وبناء على هذا فإن الكتل الصلبة في شرقي آسيا تقتصر- باستثناء هضبة أوردوس- على ما يأتي:

(أ) كتلة شمال شرقي الصين: وتشمل القسم الجنوبي من منشوريا والنطاق الغربي المتاخم للبحر الأصفر بما فيه إقليم شانتونج Shantung، حيث تقع تكوينات العصر الفحمي -ومعظمها قاري بحيري- متوافقة مع تكوينات ما قبل الكمبري وتكوينات العصر الكمبري والسيلوري البحرية.

(ب) كتلة جنوب شرقي الصين: وتمتد من اليانج تسي Yangtse حتى هاينان Hainan، وبين هاتين الكتلتين الشمالية والجنوبية يمتد القسم الشرقي من مرتفعات كون لون Kun Lun و مرتفعات تسين لينج شان Tsinlingshan التي نشأت في فترة الالتواءات الهرسينية.

٤- كتلة الدكن:

هي شبه جزيرة تمثل قسماً منعزلاً من قارة جندوانا أضيف إلى أساس قارة آسيا. وهي أشبه بمثلث يقع رأسه في الجنوب، وتمتد قاعدته في الشمال من خليج كوتش Cuch في الغرب إلى دلتا نهر الكانج في الشرق. وتفصلها سهول نهر السند والكانج عن مرتفعات الهيمالايا الحديثة النشأة.

ويبدو التركيب الجيولوجي لكتلة الدكن بسيطاً في معظمه. فهي تتركب

من قاعدة من الصخور القديمة الأركية المتبلورة تليها إلى أعلى مجموعة من الطبقات الصخرية تعرف بتكوينات بورانا Purana التي تنسب للعصر الألجوني Algonkium (عصر ما قبل الكمبري) وهي تنتشر فوق مساحات عظيمة بشكل منتظم لا تعتوره الاضطرابات باستثناء قسمها الأسفل الذي أصابه الالتواء البسيط في إقليم تلال أرافاللي Aravalli في ولاية راجبوتانا Rajputana . وتكاد تختفي تكوينات العصور الأولى من الزمن الأول حتى نصل إلى العصر الفحمي فنصادف طبقات رسوبية تعرف باسم داروار Dharwar ، أهمها مجموعة الطبقات المعروفة بتكوينات جندوانا. وقد تراكمت هذه التكوينات ابتداء من أواخر العصر الفحمي حتى أواخر العصر الكريتاسي. وهي تبدأ عادة من أسفل بمجموعات صخرية جليدية تحتوي على صخور التيلايت.

وقد بقيت شبه جزيرة الدكن بارزة فوق مستوى البحر منذ عصور ما قبل الكمبري، إذ أن جميع صخورها قارية النشأة، فالمستويات العليا من طبقات جندوانا تتركب هي الأخرى من صخور رملية وطينية قارية، ولكنها الآن تنحصر في مساحات صغيرة نسبياً غالباً في جهات منخفضة في داخلية شبه الجزيرة. ويقتصر وجود الرواسب البحرية التي تنتمي للعصر الجوراسي في شبه جزيرة كوتش، وفي أجزاء منعزلة من نطاق الساحل الشرقي. وفي الشمال الغربي من شبه الجزيرة، وعلى الجانب الجنوبي من مرتفعات أسام Assam ، وأيضاً في جنوب الهند توجد تكوينات بحرية تنسب لأواسط وأواخر العصر الكريتاسي، ترتكز على القاعدة الصخرية القديمة.

وفي أواخر الزمن الثاني وأوائل الزمن الثالث (من العصر الكريتاسي حتى أوائل عصر الإيوسين) انبثقت طفوح من اللافا البازلتية على نطاق

واسع، فغطت مساحات هائلة من سطح الدكن، وهي تسمى بالذكن ترابس Deccan Traps . وهي تنتشر الآن فوق مساحة في وسط الكتلة وغربها تصل إلى نحو نصف مليون كيلومتر مربع، كما توجد مبعثرة في جهات مختلفة تفصل بينها مساحات كبيرة اكتسحت تكويناتها عوامل التعرية. ويدل اختفاء الأعناق والفوهات البركانية على أن اللافا قد انبثقت من خلال شقوق وفوالق واسعة النطاق. وقد خرجت هذه الطفوح إلى سطح الكتلة أثناء فترات متعاقبة تخللتها فترات هدوء كانت تتعرض فيها غطاءات اللافا لعوامل التعرية فتنشأ تكوينات قارية أرسب معظمها في مياه عذبة.

وقد بلغت هذه الطفوح أوجها حينما كانت كتلة الدكن تعاني من حركة رفع صاحبت الزحزحة التي أدت إلى تكسر القسم الشرقي من قارة جندوانا. وقد تأثرت الكتلة بحركة رفع أحدث أدت إلى ميلها صوب الشرق، مما أدى إلى شدة انحدارها تجاه الغرب، وإلى اتجاه شبكة تصريفها النهري الرئيسية نحو الشرق. وقد صحبت حركة الرفع هذه انكسارات بالقرب من الساحل الشرقي وفي جنوب الهند، وفوق السواحل الجديدة التي نشأت عقب حركة الرفع تراكمت- في عدة أماكن- رواسب بحرية تنتمي للزمن الثالث ابتداء من عصر الأيوسين حتى أواخر عصر البلايوسين.

٦- كتلة أستراليا:

هي قسم شرقي متطرف من قارة جندوانا القديمة، وهي قارة مستقلة تحيط بها المياه من كل جانب. ويفصلها عن جزيرة نيوغينيا مضيق توريس Torres الضحل. ويعد القسم الجنوبي من تلك الجزيرة مكملاً لكتلة القارة، أما قسمها الشمالي فينسب لحركة الالتواءات الألبية. وقد انفصلت جزيرة تسمانيا Tasmania هي الأخرى عن قارة أستراليا في عصر حديث،

ويفصلها عنها في الوقت الحاضر مضيق باس Bass الضحل الذي لا يزيد عمقه عن ٧٠ متراً. وتشير خلجان الرياس التي تنتشر في الساحل الشرقي إلى حدوث حركة هبوط أصابت الأرض في تلك الجهة في عصر حديث أيضاً. ويكتنف الحاجز المرجاني العظيم الساحل الشمالي الشرقي للقارة.

وتشغل القسم الغربي من أستراليا كتلة قديمة تشتمل على نحو ثلثي مساحة القارة. وتمتد قاعدة تلك الكتلة في السهول الوسطى أسفل طبقات رسوبية أحدث قليلة السمك. وتتركب قاعدة الكتلة من صخور أركية متحولة تتداخل فيها الصخور الجرانيتية والصخور الخضراء كالجابرو والنوريت والسربنتين، كما يدخل في تركيبها مجموعة من الصخور الألجونية العظيمة السمك التي أصابها الالتواء والتحول أيضاً.

وفي نطاق التخوم بين الكتلة الغربية والسهول الوسطى تراكمت رواسب تنتمي للزمن الأول أهمها وأكثرها انتشاراً تلك التكوينات الجيرية التي تنسب للعصر الكمبري والتي تمتد في وضع أفقي تقريباً. أما تكوينات العصرين الأوردوفيسي والسيلوري فينحصر وجودها في السهول الوسطى والنطاق الشرقي، كما ينتشر وجود الصخور الجيرية الديفونية. ولقد تأثرت المنطقة التي تقع إلى الجنوب من إقليم كمبرلي Kimberley بحركة هبوط في أواخر العصر السيلوري وأوائل العصر الديفوني، فنشأ عن ذلك انخفاض سطحها، وقد بقيت منذ ذلك الوقت حوضاً صحراوياً تراكمت فيه مجموعة من الطبقات الرسوبية أثناء العصرين الفحمي والبرمي، بعضها خليجي أو بحري وبعضها الآخر مائي جليدي. وتبلغ الرواسب القديمة التي تنتمي للزمن الأول أوج سمكها ونموها في الشرق حيث التوت أثناء العصر الفحمي على عدة أدوار، وقد بلغ الالتواء أشده في القسم الجنوبي من النطاق

الشرقي، وقد صحبت حركة الالتواء وأعقبتها تداخلات من الصهير الجرانيتي.

ولقد بدأ الزمن الثاني بفترة قارية سادت كل أجزاء أستراليا، فتراكمت تكوينات رملية أثناء العصر الترياسي. وتقع الطبقات الجوراسية القارية في السهول الوسطى في وضع أفقي لم يصبها الاضطراب، وقد أرسبت في بحيرة أو بحيرات فسيحة، وهي عظيمة السمك وتعتبر مخازن غنية للمياه الارتوازية. وفي أثناء العصر الكريتاسي الأوسط طغى البحر من الشمال على مساحات فسيحة من السهول الوسطى، ثم تراجع عنها في الكريتاسي الأعلى، وترك وراءه بحيرة عظيمة الاتساع تراكمت فيها رواسب عظيمة السمك.

وفي أوائل الزمن الثالث عاد البحر إلى الطغيان على السهول الوسطى، وجاء الطغيان هذه المرة من الجنوب حيث أرسبت طبقات بين خطي طول ١٢٥° و١٣٣° شرقاً. وفي عصر المايوسين توغل البحر نحو الداخل حيث أرسبت طبقات جيرية، كما غطت السهل الأدنى لنهر موري Murray تكوينات بحرية تنسب لأوائل عصر البلايوسين. ولقد تأثرت القارة بحركة تكتونية في أواخر البلايوسين صحبها انبثاق طفوح من البازلت والتراخيت في نطاق المرتفعات الشرقية، كما تسببت تلك الحركة في نشوء تضاريس الهضبة الغربية الحالية. فقد ارتفعت الأرض في الغرب، وانخفضت نوعاً في الوسط، كما حدثت عدة انكسارات. وكانت الحركة أشد عنفاً في المرتفعات الشرقية الهرسينية حيث صحبها التواء وانكسار، كما هبطت السواحل الشرقية وارتفعت الأرض المجاورة لها. وقد استمرت هذه الحركة دائبة أثناء الزمن الرابع، كما استمر النشاط الطفحي الذي أنشأ الكثير من المخروطات البركانية.

٧- كتلة إفريقيا:

تتركب كتلة القارة الإفريقية من قاعدة من الصخور الأركية، تتداخل فيها أجسام الباتوليت الجرانيتية الضخمة، التي تبدو ظاهرة على طول الساحل الغربي من مصب نهر الأورانج Orange حتى ساحل خليج غينيا، كما تظهر في أجزاء فسيحة من شرقي إفريقيا وفي داخل الصحراء الكبرى، وأيضاً في جنوب السودان. وفوق هذه القاعدة ترتكز طبقات صخرية عظيمة السمك تنتمي لعصر ما قبل الكمبري (الألجوني).

وفي القسم الجنوبي من إفريقيا ترتكز على القاعدة الأركية مجموعة من الطبقات التي تنتمي لأوائل العصر الألجوني، وهي تتركب من الكوارتزيت ومن مجمعات صخرية كوارتيزية، وتقع فوقها مجموعة أخرى أحدث منها أصابها الالتواء، تتداخل فيها كتل اللاكوليت التي تتركب من صخور الدياباز. وترتكز على المجموعة الصخرية الأخيرة طبقات تنسب لأواخر العصر الألجوني وللعصر الكمبري، أصابها التواء عنيف خاصة في مناطق توزيعها في الترنسفال وبتشوانالاند، وفي أجزاء القسم الجنوبي الغربي لإفريقيا. وهي تتألف من صخور قارية بعضها بحري، أهمها الكوارتزيت والصخور الجيرية والدولوميت والصخور الرملية،ويلي ذلك إلى أعلى مجموعة من الصخور الجرانيتية والطفوح البركانية. ويبدو أن القسم الأول من الزمن الأول كان بمثابة فترة سادت خلالها عمليات النحت والاكتساح. وفي أواخر العصر السيلوري تراكمت في جنوب القارة طبقات رسوبية قارية تسمى بطبقات الكاب، وهي تكوينات رملية يتألف منها مرتفع تيبول Table Mountain، ثم أرسبت طبقات بحرية في أواسط العصر الديفوني تليها تكوينات قارية تتألف من الكوارتزيت والصخور الرملية بعضها ينسب لأوائل العصر الفحمي. ولقد عانت كل هذه الطبقات في إقليم الكاب

حركات التوائية منتظمة في أثناء الفترة الممتدة من أواخر العصر الفحمي حتى العصر الترياسي. وتتخذ هذه الالتواءات اتجاهاً عاماً من الشرق نحو الغرب، ولكنها تنحني صوب شمال الشمال الغربي في النطاق المتاخم للساحل الغربي، ويتخذ هذا شاهداً على صحة الافتراض الخاص بارتباط سابق بينها وبين نظائرها في أمريكا الجنوبية. وبسبب حركات الالتواء هذه نشأ حوض الكارو Karroo كمنخفض هامشي على طول امتداد المرتفعات. وفوق قاعه المسمى بسطح ما قبل الكارو تراكمت طبقات الكارو العظيمة السمك. وتتألف هذه الطبقات من تكوينات كلها قارية النشأة، أرسبت بالتدريج فوق قاع المنخفض الذي كان مستمراً في الهبوط، وذلك في أثناء الفترة الممتدّة من أواخر العصر الفحمي حتى أوائل العصر الجوارسي. وتبدأ هذه الطبقات في الترنسفال بصخور التيلايت الجليدية، وهي المعروفة بتيلايت دويكا Dwyka-Tillite، والتي تدل على تحركات للجليد من عدة مراكز من الشمال ومن الجنوب ومن الشرق. ويلي هذه الطبقات إلى أعلى مجموعة طبقات إيكا Ecca التي أرسبت في العصر البرمي، والتي تحتوي على تكوينات فحمية وعلى حفريات جلوسوبتريس النباتية، وهذه تنتهي إلى صخور رملية تنسب للعصر الترياسي تتداخل في تكويناتها العليا طفوح بركانية قاعدية. ولقد سادت كتلة جنوب إفريقيا- فيما عدا حوافها- فترة قارية طويلة أثناء العصرين الجوراسي والكريتاسي أيضاً، شاعت خلالها عمليات التعرية التي حولت المنطقة إلى سهل تحاتي يعرف بسهل ما بعد الكارو. هذا وتعزى التضاريس الحالية لكتلة جنوب إفريقيا إلى الحركات الأرضية التي أخذت تشتد ابتداء من عصر الأيوسين.

أما في مرتفعات شرقي إفريقيا- من نهر الزمبيزي Zambesi إلى هضبة الحبشة وإلى مشارف حوض الكنغو- فيبدو التتابع الطبقي أبسط من

ذلك. إذ ترتكز على القاعدة الأركية القديمة بقايا تكوينات تنسب للعصر الألجوني، وبعض آثار قليلة من تكوينات أوائل الزمن الأول، كما نجد طبقات الكارو التي أرسبت هنا أيضاً فوق كتل هبطت بين الانكسارات إبتداء من أواخر العصر الفحمي حتى العصر الجوارسي. أما النطاق الساحلي فقد تأثر بطغيان المحيط الهندي، فتراكمت فوقه الرواسب البحرية في فترات مختلفة ابتداء من العصر البرمي حتى عصر المايوسين. ويبدو أن الانكسارات الأخدوية التي أنشأت مضيق موزمبيق قد حدثت في أثناء العصر الترياسي. ولقد تأثرت أراضي الصومال والحبشة أيضاً بالذبذبات المائية البحرية بين طغيان وانحسار؛ فبعد طغيان البحر في أواسط العصر الجوراسي أعقبته حركة رفع عنيفة، ثم تلى ذلك طغيان البحر في أوائل العصر الكريتاسي وأرسب تكويناته عند الحواف، ومن ثم فإننا نجد التكوينات القديمة التابعة لأوائل وأواسط الزمن الثاني في مواقع مرتفعة. وفوق هذه التكوينات ترتكز طفوح اللافا العظيمة التي انبثقت في أواخر العصر الكريتاسي وفي أثناء الزمن الثالث. وتعتبر هذه الطفوح بمثابة ظاهرات مصاحبة لحركات انكسارية وأخرى رافعة استمرت دائبة طوال الزمنين الثالث والرابع، وهي مسئولة عن نشوء تضاريس القسم الشرقي من إفريقيا حتى إقليم إريتريا.

ويتمثل القسم الأوسط من إفريقيا في حوض الكنغو. وهو عبارة عن كتلة قديمة تعرضت لهبوط مستمر، وتحيط به كتل قديمة أكثر منه ارتفاعاً وفي إقليم كاتانجا Katanga ترتكز فوق تكوينات مشابهة لتكوينات الترنسفال مجموعة صخرية قارية النشأة تماثل طبقات الكارو التي أرسبت ابتداء من العصر الفحمي حتى الجوارسي. وتملأ حوض الكونغو الحالي رواسب تنتمي للزمنين الثالث والرابع وكثير منها جيري. وقد تأثر القسم

الشرقي من الحوض بنظم الإنكسارات في القسم الشرقي من إفريقيا. أما الحائط الغربي الذي يبدأ من أنجولا حتى الكاميرون فقد عانى من حركات رفع متكررة، وقد أرسبت فوق الشريط الساحلي الغربي تكوينات بحرية تنسب للزمنين الثاني (ابتداء من العصر الكريتاسي) والثالث.

وتمتد كتلة وسط إفريقيا القديمة نحو الشمال أسفل الهضبة الإفريقية الشمالية الضخمة بميل عام في نفس الاتجاه، وهي تمثل أساس القسم الأعظم من الصحراء الكبرى بما فيها الصحراء الليبية ووادي النيل والسودان حتى كتلة الهضبة الحبشية. ولقد تأثرت أجزاء من هذه القاعدة بحركات التوائية قديمة. وقد ثبت أن الالتواءات الكاليدونية التي ادعى وجودها سويس وأسماها بالالتواءات الصحراوية Saharides ما هي إلا قسم من التواءات عصر ما قبل الكمبري. وينحصر وجود الالتواءات الهرسينية في أجزاء محدودة من وسط الصحراء، ولهذا فإننا نجد الطبقات البحرية التي تنسب للزمن الأول- ومعظمها رملي- تمتد أفقياً وتشارك في بناء قسم عظيم من الهضبة الإفريقية الشمالية، وقد نجدها في شكل تموجات فسيحة ضحلة، كما نجد أن الانكسارات قد أصابتها في كثير من مناطق توزيعها. وقد طغى البحر على الكتلة في أواسط وأواخر العصر الكريتاسي، فأرسبت طبقات رملية جيرية. ويبدو أن خليج غينيا قد اتصل بالبحر المتوسط عبر الكتلة في فترة معينة (فترة تورون Turon) أثناء هذا الطغيان. وفوق تكوينات أواخر العصر الكريتاسي ترتكز رواسب عصر الإيوسين البحرية وهي محدودة الانتشار. وفي الصحراء الليبية ينتمي القسم الأسفل من الصخور الرملية النوبية الواسعة الانتشار إلى العصر الفحمي، أما القسم العلوي منها فينسب جزئياً للعصر الجوراسي ومعظمه للعصر الكريتاسي، وهي تكوينات قارية بعضها بحري. ويلي هذه التكوينات في مصر الرواسب البحرية التى

تنسب لأوائل الزمن الثالث. وقد انحصر طغيان بحر تيثس في النيوجين على شريط عريض في ليبيا، كما غزى حوض النيل إلى حوالى خط عرض ٢٤° شمالاً.

٨- الكتلة اللورنسية أو الكندية:

تمتد الكتلة اللورنسية في شكل قوس فسيح حول خليج هدسن، وتشمل مساحة متصلة تبلغ نحو خمسة ملايين كيلومتر مربع، هذا عدا الجزر العديدة التي تنتشر إلى الشمال منها. وتسير حدودها الجيولوجية مع الضفة الشمالية لنهر السنت لورنس إلى مدينة مونتريال، وعلى طول نهر أوتاوه Ottawa حتى خليج جورجيا Georgia Bay ثم تتبع الحدود الجانب الجنوبي لبحيرة سوبيريور، ومنه إلى بحيرة وودز Lake of Woods، وإلى الشرق من بحيرة وينيبج Winnipeg عبر بحيرة أتاباسكا Athabaska وبحيرة جريت سليف Great Slave وبحيرة جريت بير Great Bear حتى مصب نهر الماكنزي Mackenzie.

وتتألف الكتلة اللورنسية من صخور أركية قديمة قد أصابتها عمليات التحول ولكن كثيراً منها قد بقي في حالة متبلورة، ويغلب فيها الجرانيت والنيس والشست. ويشيع ظهور هذه الصخور فوق سطح الكتلة فيما عدا آثار منعزلة لرواسب تنسب للعصور الأولى من الزمن الأول، تلك الرواسب التي يسود وجودها خارج حدود الكتلة. ومنذ أوائل العصر الكمبري بقيت الكتلة الكندية بارزة لم تطغَ عليها مياه البحر فيما عدا أجزاء محدودة جداً غزاها البحر أثناء أواخر ذلك العصر. وينعدم وجود الرواسب فوقها ابتداء من أواخر العصر الديفوني حتى أوائل عصر البلايوستوسين. ولم تتأثر الكتلة اللورنسية أيضاً منذ عصر ما قبل الكمبري بحركات أرضية

عنيفة، هذا إذا استثنينا قليلاً من حركات انكسارية بعضها حديث. ولهذا فقد تعرضت أرضها لعمليات التعرية على مدى العصور الطويلة فحولتها إلى سهل تحاتي. ولقد استطاع الجيولوجيون تمييز ثلاث حركات التوائية حدثت في عصر ما قبل الكمبري، وأصابت صخور الكتلة نفسها، أقدمها تسمى بالحركة اللورنسية Laurentian، تلتها الحركة الألجومية Algoman ثم الحركة الكيلارنية Killarnean.

وتمتد الكتلة الكندية أسفل القسم الأعظم من السهول الداخلية في أمريكا الشمالية، وتغطيها هنا طبقات أفقية أو تكاد، تنسب للزمن الأول والثاني والثالث، والسهول الداخلية قليلة التضرس، إذ لم تصبها سوى اضطرابات أرضية يسيرة. وتظهر صخور ما قبل الكمبري في هضبة أوزارك Ozark وفي كتلة ويسكونسن.

وقد تراكمت حول الكتلة القديمة كميات عظيمة من الرواسب نحتت واكتسحت منها، ثم أرسبت في البحار الجيولوجية القديمة المتاخمة لها في الشرق وفي الغرب. وقد التوت تلك الرواسب ورفعت فيما بعد مكونة المرتفعات التي اتحدت مع تلك الكتلة مكونة لقارة أمريكا الشمالية الحالية. ولقد كانت الحركات الالتوائية تأتي دائماً من المحيطات تجاه النواة القديمة، ومن ثم نجد أن امتداد المرتفعات يتجه اتجاهاً عاماً من الشمال إلى الجنوب كما هو ملاحظ في مرتفعات أبلاش الهرسينية في الشرق، والكورديلليرا الألبية في الغرب.

٩- كتلة البرازيل وجيانا:

تشبه قارة أمريكا الجنوبية القارات الجنوبية الأخرى في سهولة تحديد

أقاليمها، كما أن قسمها الشرقي يماثل تلك القارات في بنائه وتكوينه. ويمكن تقسيم القارة إلى عنصرين تكتونيين عظيمين يختلفان عن بعضهما في البناء الجيولوجي وفي أشكال السطح أيضاً. ففي الشرق نجد كتلة قديمة ظلت أرضاً يابسة طوال عصور جيولوجية عديدة لم يطغَ عليها البحر إلا جزئياً ونادراً، ولهذا فقد أصابتها عوامل النحت والاكتساح، وأثرت فيها تأثيراً بيناً، كما أنها تعرضت لحركات الرفع والانكسار. هذه الكتلة يطلق عليها كتلة جيانا والبرازيل. أما في الغرب فنجد نطاقاً عريضاً من سلاسل الالتواءات الحديثة تميز بحركات رأسية نشيطة، ويتركب من أجزاء تختلف عن بعضها في بنائها كما هو الحال في نظائرها في أمريكا الشمالية. ولكنها- مع هذا- تمثل نظاماً مستقلاً من السلاسل الجبلية يشترك في معاناته لحركات أرضية حديثة واحدة. وتشبه هذه السلاسل الجبلية نظائرها في غرب أمريكا الشمالية في أنها تحصر بينها هضاباً عالية، وفي كثرة وجود البراكين الحديثة بها. وبين كتلة البرازيل وكتلة جيانا، وبينهما في الشرق وسلاسل الأنديز في الغرب تقع أحواض قديمة تجري بها أنهار أورينوكو Orinoco وأمزون Amazon، وبارانا- بارجواي Parana-Paraguay. وتتصل هذه الأحواض ببعضها عن طريق شريط من الأرض المنخفضة يمتد على طول السفوح الشرقية للسلاسل الجبلية الغربية. ويتبع السهول أيضاً أرض بتاجونيا Patagonia وهي في معظمها كتلة أركية قديمة تغطيها رواسب حديثة وقد تأثرت بالانكسارات بسبب حركات الرفع الحديثة.

ويتركب القسم الشرقي القديم من صخور أركية وجذور جبلية ألجونية تتداخل فيها صخور جرانيتية وكوارتيزية. ويندر وجود تكوينات تتبع العصر الكمبري. كما ينعدم تمثيل العصر الأوردوفيسي. وتغطي تكوينات بحرية تنتمي لأواخر العصر السيلوري مساحات كبيرة خصوصاً في حوض

نهر الأمزون، الذي بقي منذ ذلك العصر بمثابة أرض تهبط وتتراكم فوقها الرواسب باستمرار فيما بين كتلتي جيانا والبرازيل. ولم تثبت بعد نسبة تكوينات الجير والكوارتزيت في البرازيل وفي الأرجنتين إلى العصر السيلوري. وأيضاً ما يزال مجال توزيع الالتواءات الكاليدونية محل جدال، وهي الالتواءات التي يطلق عليها البرازيلية Brazilides والتي تُحيط بكتلة البرازيل من الجنوب والغرب.

وتعتبر تكوينات العصر الديفوني أكثر من غيرها انتشاراً. وقد استطاعت مياه البحر الجيولوجي القديم الذي حلت محله مرتفعات الأنديز فيما بعد أن تتقدم في داخلية القارة، وتطغى على منخفض الأمزون حيث أرسبت كميات عظيمة من الرواسب ترتكز متوافقة مع طبقات العصر السيلوري. وينحصر وجود تكوينات العصر الفحمي البحرية على هذا المنخفض أيضاً. وفي الجهات الأخرى من شرق القارة تمثل هذا العصر تكوينات قارية. وتحتوي الطبقات التي تنسب للعصر الفحمي والمستويات السفلى من رواسب العصر البرمي على تكوينات التيلايت الجليدية التي تنتشر انتشاراً عظيماً حتى جزرفالك لاند. وتتركب تكوينات العصر البرمي هي الأخرى من رواسب قارية وتحتوي على حفريات جلوسوبتريس النباتية التي تماثل نظائرها في جنوب إفريقيا، مما يشير إلى استمرار الاتصال بينهما في ذلك العصر. وفي العصر البرمي حدث آخر دور من أدوار فترة الالتواءات الهرسينية، تلك الالتواءات التي تسمى بالجندوانيدية Gondwanides، وهي التواءات معقدة ينحصر وجودها في سييرات وكورديلليرات الأرجنتين التي أصابتها واحتوتها حركة الالتواءات الألبية التي أنشأت سلاسل الأنديز فيما بعد.

وتغطي صخور الرمل الأحمر والكونجلوميرات التابعة للعصرين البرمي

والترياسي مساحات عظيمة من كتلة جيانا والقسم الشمالي الشرقي من البرازيل، كما تظهر في جهات أخرى عند حواف حوض نهر بارانا. وعند التخوم الشرقية من مرتفعات الأنديز حيث أصابتها حركات الرفع الألبية. وفي أواخر العصر الترياسي والجوراسي انبثقت طفوح من اللافا البازلتية غطت مساحات كبيرة من حوض بارانا وحوض الأورينوكو. وفي العصر الكريتاسي تراكمت رواسب قارية فوق مساحات عظيمة من كتلة البرازيل. وفي أواسط العصر الكريتاسي حدثت حركات التوائية هينة تدعى بالالتواءات البتاجونيدية Patagonides، عادت وتجددت في أثناء عصر الميوسين. وفي الزمن الثالث حدثت حركات إلتوائية تسببت في التواء ورفع سلاسل الأنديز، كما تسببت في إحداث انكسارات في شرق البرازيل، وفي رفع الجبال الهرسينية المتخلفة من جديد.

١٠- كتلة القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا):

لقد تمكن موري J.Murray منذ نحو تسعين عاماً- بناء على كثير من الأبحاث والمشاهدات- من الاستدلال على وجود كتلة أرضية متصلة الأجزاء تتكون منها القارة القطبية الجنوبية. وقد قدر مساحتها بنحو ١٠ مليون كيلومتر مربع. ولقد أثبتت الأبحاث التي قامت بها البعثات العلمية المتتالية منذ أواخر هذا القرن صحة تقديرات موري، ولو أن تقدير المساحة قد زاد إلى نحو ١٤ مليون كيلو متر مربع، وهو تقدير فيه شيء من المغالاة، إذ يعتقد البعض أن مساحتها لا تزيد كثيراً عن ١٢ مليون كيلومتر مربع. وقد تمكنت البعثات من الكشف عن كثير من غوامض تلك الأرض التي يغطيها غطاء جليدي ضخم، ومن تحديد حجمها وشكلها وتكوينها. كما استطاع ميناردوس Meinarduz أن يحسب متوسط ارتفاع أرض

أنتاركتيكا ويقدره بنحو ٢٢٠٠ متر، وهو متوسط يزيد بكثير عن غيره من القارات الأخرى، ويبدو أن ذلك يرجع إلى الغطاء الجليدي السميك المتراكم فوق القارة. وما تزال معلوماتنا عن قسم عظيم من سواحلها قليلة. تلك السواحل التي يبلغ طولها نحو ١٧٠٠٠ كم، منها حوالى ٤٠٠٠ كم ما تزال مجهولة تماماً. وقد استعانت البعثات العلمية الكشفية مؤخراً بالطائرات لتصوير جزء من السواحل بلغ طوله حتى الآن نحو ٥٠٠٠ كم.

ويمكن تقسيم القارة من الوجهة التكتونية والمورفولوجية إلى قسمين متميزين أحدهما في الشرق والآخر في الغرب. ويمتد القسم الشرقي من فكتوريا لاند على الساحل الغربي لبحر روس Ross نحو الداخل إلى الساحل الغربي من بحر ويديل Weddell ، ويعتبر هذا القسم جزء من قارة جندوانا القديمة، ومن ثم فإنه يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالكتل القديمة في أستراليا وجنوب إفريقيا وأمريكا الجنوبية. ولقد تمكن الباحثون من معرفة شيء عن بنائه وتركيبه من دراسة حوافه في النطاق الساحلي الغربي من بحر روس. ويتركب الأساس الصخري من صخور النيس والشست تعلوها صخور جيرية تنسب للعصر الكمبري تتداخل فيها صخور جرانيتية، يعتقد أنها تداخلت فيما بعد العصر الكمبري وقبل العصر الفحمي. يلي ذلك طبقات سميكة من الصخور الرملية تنسب مستوياتها السفلى للعصر البرمي، ومستوياتها العليا التي تحتوي على آثار من حفريات جلوسوبتريس النباتية إلى أواخر العصر البرمي وإلى العصر الفحمي وربما للعصر الترياسي أيضاً، ثم ينتهي التتابع الطبقي بسدود وغطاءات من الدياباز، يحتمل أنها- كنظائرها في طبقات الكارو بجنوب الهند وتسمانيا- قد نشأت أثناء العصر الكريتاسي. ويوجد هذا التتابع الطبقي الذي لا تظهر سوى قاعدته خارج نطاق بحر روس في شكل أفقي تقريباً، فلم تصبه سوى حركات رأسية، إذ

هناك الكثير من الانكسارات التي تكتنف سواحل بحر روس. وهناك من يعتقد أن الانكسارات تشع من القطب الجنوبي نحو الخارج صوب بحر روس وجوس بيرج Gaussberg وبحر ويديل، وهي تشطر الكتلة القديمة إلى قطاعات انكسارية، ولو أن شيئاً منها يستحيل تتبعه بسبب وجودها أسفل غطاء جليدي سميك.

ويختلف القسم الغربي من قارة أنتاركتيكا إختلافاً بيناً عن قسمها الشرقي. وقد أمكن التعرف على بنائه من دراسة شبه جزيرة جراهام لاند. وقد تبين أن التركيب الجيولوجي هنا يماثل نظيره في مرتفعات أنديزبتاجونيا والكتلة القديمة المتاخمة لها في الشرق، ولو أن الكتلة القديمة هنا قد أصابها التكسر والإغراق، ولم يبق منها سوى جزر صغيرة لا شك تعد جزءاً من كتلة القارة الجنوبية القديمة. ويتركب النطاق الغربي من جبال جراهام لاند من صخور نارية تنسب لأواخر الزمن الثاني، أهمها صخور الجرانوديايوريت ومن صخور وسيطة، وهي في هذا تماثل نظائرها في غربي الأنديز. وتقتصر الصخور الرسوبية على طبقات أرسبت في مياه عذبة تنسب لأواسط العصر الجوراسي أصابها التواء هين. أما في النطاق الجزري الشرقي فنجد صخوراً رملية تنسب لعصري الأوليجوسين والمايوسين، كما نجد لافا بازلتية وتوفابركانية، وتشبه هذه التكوينات تكوينات المولاسي Molasse في بتاجونيا. ومن ثم فإننا نجد أنه بعد فترة قديمة من تداخل الصهير الناري وفترة جوراسية قارية، جاءت فترة ساد خلالها تداخل ناري حديث أصاب صخوره الالتواء أيضاً. ولهذا فإن بناء هذا النطاق من المرتفعات يشبه نظيره في أنديزبتاجونيا في أنه بدأ منذ نهاية الزمن الثاني واستمر أثناء الزمن الثالث. وفي النطاق الجزري الشرقي أعقب طغيان البحر أثناء الأوليجوسين والمايوسين نشاط بركاني استمر في بعض الأماكن حتى عصرنا الحاضر.

الفصل الثامن

نطاقات الضعف في قشرة الأرض

الأحواض البحرية القديمة ونظم المرتفعات

سبق لنا في الفصل السابق أن درسنا الكتل القارية القديمة الثابتة، ويبقى هنا أن نتناول بالدراسة تلك النطاقات من قشرة الأرض التي اتسمت بالتحرك وعدم الثبات أثناء فترات طويلة من التاريخ الجيولوجي للأرض. ويطلـق عـلى هـذه النطاقـات تعبير الأحواض البحرية الداخلية Geosynclinés. وقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك بأن الصخور التي تتركب منها سلاسل المرتفعات في العالم قد أرسبت أصلاً في تلك البحار الداخلية ثم التوت ورفعت فيما بعد. وقد كانت الأحواض البحرية بمثابة منخفضات عظيمة الطول ضيقة نسبياً، وكانت تهبط بنتيجة لازدياد ثقل الرواسب التي كانت تتراكم فوق قاعها باستمرار.

ولقد ابتدع هول ودانا Hall and Dana مفهوم « البحار الداخلية الوسيطة »، ولكن الفضل يرجع إلى هوج Haug في تفسير نشأتها ونموها. فقد رسم الخرائط التي توضح توزيعها في مختلف الفترات الجيولوجية القديمة، وصورها في نطاقات بحرية تحف بالكتل القارية أو تفصل بينها. وقد كانت تغطي تخوم

تلك الأحواض البحرية مياه ضحلة تراكمت فيها رواسب شاطئية خشنة تشبه نظائرها فوق الأرصفة القارية الحالية. وتتباين هذه الرواسب في تركيبها بسبب اختلاف الصخور التي اشتقت منها والتيارات البحرية التي قامت بتوزيعها. ولهذا فإننا نتوقع تغيراً سريعاً في أنواعها واضطراباً في تتابعها الطبقي. ويبدو أن تلك التخوم الضحلة كانت مسرحاً لذبذبات في مستوى مياه البحر، فقد كان البحر يتقدم في طغيانه نحو اليابس أحياناً فتغطيها مياه عميقة، ثم يتراجع وتنحسر مياهه عنها ويتركها أرضاً يابسة أحياناً أخرى. وقد تبين هذا جلياً من دراسة التكوينات التي أرسبت فوق الرصيف القاري الشمالي للحوض البحري الألبي، إذ اتضح تعاقب طغيان البحر عليه وانحساره عنه. أما في قاع البحر العميق فقد كان الإرساب يتم بانتظام، حيث كانت الرواسب القارية الدقيقة تتراكم باضطراد لا يصيبه الاضطراب بسبب الذبذبات في مستوى مياه البحر. وتبلغ رواسب المياه العميقة سمكاً عظيماً، كما أنها تتسم بالتجانس والتماثل إلى حد كبير.

وكان هول أول من تبين الصلة والارتباط الوثيق بين الأحواض البحرية القديمة وسلاسل المرتفعات. وقد اتضح له من دراسة نظم المرتفعات الحالية أن تلك البحار القديمة تختلف اختلافاً كبيراً عن البحار والمحيطات الحالية، هذا على الرغم من أن بعض البحاث يرون في المحيط الأطلسي الحالي وفي بعض البحار الحالية- كبحار شرقي آسيا والخليج العربي ومضيق موزمبيق وبحر الشمال وبحر البلطيق وخليج المكسيك- نظائر لتلك البحار القديمة.

وقد كانت قيعان الأحواض البحرية القديمة تنوء بثقل الرواسب فتهبط بمقدار يتناسب مع ازدياد التراكم الذي بلغ سمكه بين ٦٠٠٠ و ١٠٠٠٠ متر، وهو سمك يزيد على مقدار عمق أي محيط من محيطاتنا الحالية، ويحتمل

أن عمق المياه فوق الرواسب كان يظل ثابتاً طوال فترة وجود الحوض البحري.

ويعتقد هوج أن الأحواض البحرية كانت بمثابة نطاقات مستطيلة عميقة المياه نوعاً، ومن ثم فإن الأرساب فوق قيعانها قد تم في تتابع منتظم من الساحل حتى القاع العميق، بحيث تعاقبت الرواسب في أشرطة متتالية من الرواسب الشاطئية، فرواسب الرصيف القاري، إلى تكوينات المنحدر القاري، ثم رواسب القاع العميق. وتعتبر بقايا الكائنات البحرية المطمورة في الطبقات الرسوبية من بين الوسائل التي يستعان بها في تقدير الأعماق. فرواسب المياه الضحلة لا تحتوي إلا على بقايا الكائنات التي يكثر وجودها عادة في نطاق الرصيف القاري كالمحار والشوكيات الجلدية Echinoderms مثل قنافذ البحر Echinoids، فوجودها في طبقات معينة يدل على أن هذه الطبقات قد أرسبت بالقرب من الشاطئ. وهناك أنواع أخرى تدل على أن الطبقات التي تحتويها قد أرسبت في مياه عميقة كأنواع الأمونيتات المختلفة.

والأحواض الداخلية كما وصفها هوج هي بحار طويلة ضيقة نوعاً كانت تفصل بين الكتل القارية. ويؤيد كثير من البحاث آراء هوج ويعارضها آخرون، ولقد ميز شوخيرت Schuchert بين ثلاثة أنماط من الأحواض البحرية القديمة هي:

الأول ما أسماه بالأحواض الوحيدة Monogeosynclines: وهي كما تصورها هول ودانا، وكما تبدو بوضوح من دراسة مرتفعات الأبلاش في شرق أمريكا الشمالية، كانت بمثابة أحواض مائية طويلة ضيقة، عانت هبوطاً ملحوظاً تشير به الرواسب السميكة التي احتوتها مرتفعات الأبلاش. وقد تميز هذا الحوض الأبلاشي بتوازن بين عمليات الإرساب والهبوط، إذ أن

الرواسب من طابع تكوينات المياه الضحلة، وقد كان هذا النمط من الأحواض يقع إما في داخل قارة أو عند حوافها.

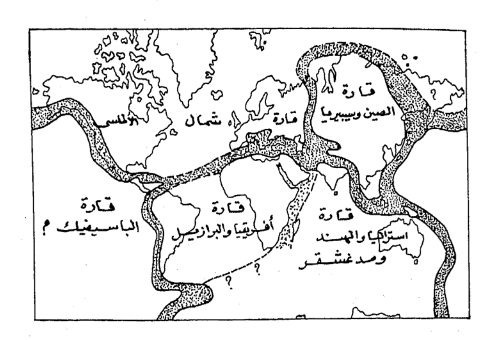
أما النمط الثاني فيدعوه شوخيرت بالأحواض المتعددة المنخفضات Polygeosynclines: وقد كانت الأحواض من هذا النمط تتميز باتساعها وتعقد تاريخها الجيولوجي، كما كانت تنفصل إلى منخفضات بواسطة حافة أو حافتين متوازيتين. وقد كانت تحتل- كأحواض النمط الأول- نطاقات داخلية في القارة أو عند حوافها. ويرى شوخيرت أن خير مثال لها هو الحوض الذي تحتله الآن مرتفعات الروكي.

والنمـط الثالـث والأخير يسميه شوخيرت بالأحواض المتوسطة Mesogeosynclines: وقد كانت تمثله بحار طويلة ضيقة «متوسطة» تقع بين الكتل القارية وتتميز بالعمق وبتاريخ طويل معقد.

ويتفق هذا النمط الأخير مع آراء هوج في تصوره للأحواض البحرية، فهو يرى أنها كانت دائماً تقع بين كتل قارية. فقد كانت بمثابة نطاقات الضعف والحركة بين الكتل الثابتة القديمة. ولعل أهم ظاهرة تبرز من خريطة العالم التي رسمها هوج لتوزيع البحار الداخلية والكتل القارية القديمة في الزمن الثاني (شكل ١٩٤)، ذلك الحوض البحري العظيم المسمى ببحر تيثس الذي كان يمتد شرقاً وغرباً بين الكتل القارية في الشمال والجنوب، وقد بلغ هذا البحر أقصى اتساعه وطوله أثناء العصر الفحمي الأسفل.

ويرى هوج أن البحار الداخلية كانت تفصل أثناء الزمن الثاني بين الكتل القارية الآتية:

١- كتلة شمال الأطلسي.



شكل (١٩٤) الأحواض البحرية والكتل القارية في الزمن الثاني كما صورها هوج.

٢- كتلة الصين وسيبيريا.
٣- كتلة إفريقيا والبرازيل.
٤- كتلة أستراليا والهند ومدغشقر.
٥- كتلة القارة الباسيفيكية. وقد أضيفت إلى تلك الكتل، من وقت لآخر، أرض يابسة جديدة عن طريق التواء ورفع الرواسب التي تراكمت في الأحواض البحرية التي كانت تتاخمها. ويبدو أن هوج في توزيعه للبحار القديمة قد وضع في اعتباره ما يشاهد الآن من كثرة الإرساب في مناطق الأرصفة القارية. ومن ثم فإنه وضع البحار القديمة أثناء الزمن الثاني في نطاقات مشابهة، فلم يترك بذلك فراغاً حوضياً يتسع لمياه المحيطات.

ولقد سبق أن ذكرنا أن الاتفاق غير تام بين الباحثين حول مفهوم الحوض البحري القديم. ويرى إيفانس J W. Evans الذي يفضل تسميته بمنخفض الإرساب Sedimentation Subsidence أن شكله من الممكن أن يتباين، فقد يكون مجرد قوس مقعر، أو مسطح منخفض أو متماوج غير منتظم، وفي كلتا الحالتين نجد أن أعمق أجزائه تقع أسفل أعظم ثقل وبالتالي أعظم سمك تصله الرواسب. وقد يكون منبسطاً لحد ما، وتحيط به نطاقات التوائية. وقد يوجد الحوض عند تخوم محيط واسع مجاوراً لساحل جبلي، أو قبالة مصبات الأنهار الكبيرة، أو قد يتمثل في بحر يفصل بين كتل قارية، أو قد يوجد في سهل يتاخم هضاباً ومرتفعات. وحيث يستمر ويتزايد الإرساب يهبط القاع ليحتفظ الحوض بوجوده إلى أن يأتي الوقت الذي تنضغط فيه الرواسب وتلتوي. ويرى إيفانس أن ذلك يحدث بسهولة في الأجزاء من قاع الحوض التي هبطت وتقوست إلى أسفل أكثر من غيرها بسبب ثقل الرواسب. ويرجع ضعف تلك الأجزاء أيضاً إلى أن طبقاتها السفلى قد أصبحت في نطاق أكثر حرارة، ومن ثم تناقصت قوتها وصلابتها. ويتسبب الهبوط الذي ينشأ عن ثقل الرواسب في إحداث تحركات في مواد السيما أسفل الجزء من القشرة الآخذ في الهبوط، كما يتسبب في إحداث اضطراب في حالة التوازن الأرضي. وكلما اشتدت الضغوط على الرواسب أدى ذلك إلى التوائها، ولما كانت الرواسب تتركب من مواد أخف من مواد السيما فإنها تميل إلى الصعود والارتفاع، ومن ثم تتكون المرتفعات، كما ينشأ منخفض جديد تتراكم فيه الرواسب التي تكتسحها التعرية من المرتفعات، فتبدأ بذلك دورة مماثلة جديدة. وبناء على ذلك فإن مناطق الهبوط هي بمثابة نطاقات ضعف في قشرة الأرض تستسلم للضغوط الأفقية من وقت لآخر. ويمكن أن نميز بصورة عامة ثلاثة أدوار في تاريخ الحوض البحري: الدور الأول يتمثل في نشوئه نتيجة للهبوط والإرساب، والدور الثاني حين

تنثني بعض أجزائه في شكل حافات تشطره إلى أكثر من حوض، والدور الثالث يتمثل في تقلصه واقتضابه.

ويميز هولمز بين عدة أنواع من الأحواض البحرية. أولها ينشأ حين تتسرب كتل من الصهير القليل الكثافة نوعاً من طبقة الأمفيبوليت (راجع نظرية هولمز) في شكل تيارات إلى المناطق المجاورة. ويتمثل هذا النوع- في رأيه- في بعض البحار الحالية كبحر تاسمان وبحر المرجان وأرافورا وويديل وروس، وقد تمثل قديماً في البحر الذي تراكمت فيه الرواسب التي تدخل الآن في بناء المرتفعات الأمريكية الغربية. وقد ينشأ النوع الثاني نتيجة لعمليات مط وامتداد تصيب كتلة قارية، ومن ثم تسترق قشرة السيال الأصلية في المكان الذي حدث فيه الانبساط، ويمثل هذا النوع البحر الذي نشأت محله مرتفعات الأورال، أو قد ينشأ بسبب انفصال كتلتين قاريتين نتيجة لتشعب تيارات الصهير في طبقاتها السفلى. ومثله بحر تيثس. أما النوع الثالث، ويعتبر في مرتبة ثانوية بالنسبة للنوعين السابقين، فقد ينشأ بسبب ازدياد الكثافة الناجمة عن عمليات التحول التي تصيب المواد السفلى ومن ثم يحدث الهبوط. ويمثله البحر الكاريبي والقسم الغربي من البحر المتوسط وبحر باندا. أو قد ينشأ نتيجة الضغوط التي تسببت في تكوين المرتفعات، ومثله يوجد عادة في جانب الأرض الأمامية للسلاسل الجبلية العظيمة كالخليج العربي وحوض السند والكانج.

من هذا العرض العام يتضح لنا أن هناك أجزاء من قشرة الأرض قد بقيت ثابتة منذ أزمان سحيقة في القدم، وأن أجزاء أخرى تتمثل في الأحواض البحرية كانت بمثابة نطاقات ضعف وحركة وإرساب كثيف. وفي هذه الأحواض نشأت نظم المرتفعات قديمها وحديثها. ولقد حدثت فيما بعد العصر الكمبري ثلاث حركات التوائية رئيسية هي: الحركة الكاليدونية

التي حدثت في أواخر العصر السيلوري وأوائل العصر الديفوني، والحركة الفارسكية أو الهرسينية في العصرين الفحمي والبرمي، ثم الحركة الألبية التي ظلت نشطة منذ أواخر الزمن الثاني حتى انتهاء الزمن الثالث. ولقد شغلت كل حركة منها فترة طويلة من الزمن، ولهذا فإن الالتواءات التي تنتمي لكل منها في مختلف جهات العالم لا تعتبر في الواقع متعاصرة تماماً كما سنرى فيما بعد. ولقد تأكد حدوث فترات التوائية أخرى فيما قبل العصر الكمبري، ولكن معلوماتنا عنها ما تزال ضئيلة.

١- التواءات ما قبل الكمبري:

لقد سبق لنا أن عرفنا أثناء دراستنا للكتل القارية القديمة أنها تتركب من صخور أركية وألجونية أصابها التحول والالتواء. والتواؤها يختلف اختلافاً بيّناً عن الالتواءات اللاحقة، فالالتواءات الكاليدونية والفارسكيّة والألبية تنحصر في نطاقات ضيقة نسبياً. أما التواءات ما قبل الكمبري فيبدو أنها كانت تتناول مساحات واسعة.

ولقد أمكن التعرف على ثلاث حركات التوائية حدثت فيما قبل العصر الكمبري، وذلك في الإقليم الذي يحيط بالبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية. وتعرف الحركة الأولى باسم الحركة اللورنسية، وقد شملت مجموعة عظيمة من الرواسب البحرية، وصحبها نشاط بركاني عنيف وعمليات تحول شديدة. ولقد نحتت جبالها بمضي الزمن، ونشأ حوض بحري تراكمت فيه الرواسب التي ضغطت والتوت أثناء الحركة التي تلتها مكونة للمرتفعات الألجومية. ولقد صحب هذه الحركة أيضاً نشاط بركاني وتحول صخري عظيم. وقد تبع ذلك فترة طويلة تعرضت فيها تلك الجبال لعمليات التعرية فتحولت إلى سهل تحاتي. وفي أثناء الحركة الثالثة التوت الرواسب التي

تراكمت في الحوض الجديد ورفعت مكونة للإلتواءات الكيلارنية، التي تعرضت بدورها للعوامل الظاهرية فتحولت إلى سهل تحاتي أرسبت فوقه طبقات صخرية تنتمي للعصور الأولى من الزمن الأول.

وفي الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسي أمكن التعرف على مجموعة كبيرة من صخور ما قبل الكمبري (راجع صفحات ٥٥٩- ٥٦١). وتبدأ هذه المجموعة من أسفل بمركب من الصخور المتحولة تليه تكوينات أصابتها التواءات شديدة تعرف بتكوينات لادوجا وكاليفيا وبوثنيا Ladogan و Kalevian و Bothnian، وترتكز فوق هذه التكوينات الملتوية صخور رملية أفقية. وتتمثل التواءات ما قبل الكمبري أيضاً في أجزاء من الجزر البريطانية خاصة في القسم الشمالي الغربي من مرتفعات اسكتلندا.

٢- الالتواءات الكاليدونية:

وتتمثل هذه الالتواءات بوضوح في القسم الشمالي الغربي من أوروبا بما فيه الجزر البريطانية، وهي أقدم حركات أرضية أصابت قشرة الأرض فيما بعد العصر الكمبري. وقد قسمها ستيلي Stille إلى دورين رئيسيين. دور قديم سماه بالدور التاكوني Taconic، وقد حدث في الفترة الممتدة بين أوائل وأواخر العصر السيلوري؛ ودور أحدث سماه بالدور الكاليدوني، وقد حدث في فترتين متباعدتين إحداهما فيما قبل العصر الديفوني يسميها ستيلي بفترة التواء الأردن Ardenne، والأخرى في أوائل العصر الديفوني ويسميها فترة التواء إريان Erian وتتمثل على الخصوص في إيرلندا.

وتشمل المرتفعات الكاليدونية القسم الشمالي الغربي من أسكتلندا، وهو القسم المعروف باسم كاليدونيا، وتتخذ المرتفعات هناك اتجاهاً من شمال

الشمال الشرقي إلى جنوب الجنوب الغربي، وهي تمتد من جنوب إقليم أرجيل Argyll إلى رأس راث Wrath، والنطاق الالتوائي هنا ضيق نسبياً. وتختفي الالتواءات الكاليدونية تحت مياه البحر ثم تظهر في شبه جزيرة اسكنديناوه، ومن ثم يمكن اعتبار الالتواءات الاسكنديناوية مكملة للالتواءات الإسكتلندية. ويفصل بينهما الآن حوض بحر الشمال الذي نشأ في العصر الحديث. وتتجه الالتواءات في اسكتلندا عادة تجاه غرب الشمال الغربي صوب كتلة قديمة تتمثل بقاياها في جزر هبريدا، وفي كتل صخور النيس التي يتركب منها الساحل الغربي لاسكتلندا. ويعتقد سويس أن تلك الكتلة كانت فيما مضى جزءاً متصلاً بالكتلة الكندية. أما في اسكنديناوه فقد كان اتجاه الحركة الالتوائية نحو الجنوب الشرقي أي صوب الكتلة البلطية. وتتخذ الالتواءات في اسكنديناوه نفس اتجاهها في اسكتلندا أي من شمال الشمال الشرقي نحو جنوب الجنوب الغربي.

ويبدو أن مرتفعات شمال غربي اسكتلندا Highland قد نشأت في الدور التاكوني. ويتمثل هذا الدور الالتوائي أيضاً في جنوب ويلز وشمال غرب إيرلندا. أما الأدوار الأخرى فتتمثل في شمال غرب ويلز وفي إقليم البحيرة Lake District وفي مرتفعات جنوب اسكتلندا Uplands، وفي شمال إيرلندا. وحينما نترك المرتفعات الشمالية الغربية في اسكتلندا ونتجه جنوباً نجد امتداد الالتواءات الكاليدونية يتحول تدريجياً إلى اتجاه شرقي وغربي يتمثل على الخصوص في جنوب أيرلندا وفي جنوب ويلز حيث تتقابل مع الالتواءات الهرسينية. ويبدو أن الالتواءات التاكونية غير ممثلة في اسكنديناوه. أما الالتواءات الأردنية فنجدها في إقليم تروندهايم Trondhjem. وتتمثل التواءات الدور الإرياني في الإقليم السابق وأيضاً في منطقتي أوسلو وفينمارك Finmark. وتختفي الالتواءات الاسكنديناوية

أسفل المحيط المتجمد الشمالي وتعود إلى الظهور في جزيرة سبتسبيرجين كالتواءات إريانية وأردنية.

وقد وجد الباحثون تشابهاً كبيراً في التركيب التكتوني للإلتواءات الكاليدونية في الجزر البريطانية وفي جزيرة سبتسبيرجين. وهناك من يعتقد أن الالتواءات الكاليدونية التي تمتد من أيرلندا إلى سبتسبيرجين تختفي أسفل المحيط المتجمد الشمالي وتعود إلى الظهور في أرخبيل جزر شمال كندا وفي شمال جزيرة جرينلندا، وإن كان من الصعب تحديد عمر الالتواءات في تلك الأصقاع على وجه الدقة. ويبدو أن الالتواءات « الكاليدونية » في تلك الجزر تمثل فرعاً متأخراً من الالتواءات الكاليدونية الأوروبية.

وتتمثل الالتواءات الكاليدونية في أوربا أيضاً في حقل الفحم البلجيكي، حيث حدثت الحركة الأردنية سابقة لتكوين المرتفعات الهرسينية، وفي الهارتز، وفي مرتفعات فوجت لاند في مقاطعة تورينجن الألمانية Thuringen-Voegtland وفي السويد، وفي تخوم الكتلة البلطية، وفي مرتفعات البرانس الفرنسية، وفي أجزاء من شبه جزيرة أيبيريا. وتعتبر هذه الأمثلة قليلة الأهمية نوعاً، وسيرد ذكرها مرة أخرى عند دراستنا للحركات الالتوائية الهرسينية والألبية.

ويتضح من الخريطة التكتونية التي رسمها أوبرو تشيو Obrutschew لسيبيريا أن الالتواءات الكاليدونية لا تقتصر على تخوم الكتلة القديمة فحسب، وإنما توجد فوق الكتلة ذاتها، إذ تمتد موازية لشرقي مرتفعات سايان Sayan وإلى الشمال الشرقي منها أيضاً، ثم تنثني في زاوية حادة قرب الطرف الجنوبي لبحيرة بيكال، وتستمر في اتجاه شمال الشمال الشرقي مع المحور الرئيسي للبحيرة. وبالقرب من نهر أنجارا تمتد الالتواءات

في اتجاه غرب الشمال الغربي. وفي الحوض الأوسط لنهر لينا يصبح اتجاهها شمالي شرقي تقريباً. وتتمثل الالتواءات الكاليدونية أيضاً إلى الشرق من نهر ألدان Aldan، وإلى الغرب من نهر كوليما Kolyma وفي سلسلة تشارا أولاش Chara Ullach قرب مصب نهر لينا، وفي جزيرة كوتلني Kotelny حيث تمتد في اتجاه شمال الشمال الغربي.

وفي إفريقيا يدعي البعض وجود الالتواءات الكاليدونية المعروفة بالالتواءات الصحراوية في الجزء الجنوبي من الصحراء الكبرى حيث تمتد في اتجاه شمالي جنوبي، وهم يتبعونها للحركة التاكونية نظراً لأن صخور الشيل الجرابتوليتية التي تنسب للقسم الأعلى من العصر السيلوري ترتكز في وضع أفقي على صخور أصابها الاضطراب التكتوني. هذا وقد سبق أن أشرنا أنه قد ثبت من الدراسات الحديثة أن هذه الالتواءات تنسب لحركات ما قبل الكمبري.

وتتمثل الحركات التاكونية والكاليدونية في أستراليا، إذ نجدها في نيوسوث ويلز حيث تمتد في اتجاه شمالي جنوبي، وفي حقل ذهب ناريجوندا Narrigunda.

وفي أمريكا الشمالية تتمثل الحركة التاكونية في مرتفعات تاكوني Taconic Mountains ومنها اشتق اسم الحركة. وتمتد هذه الالتواءات من فرجينيا إلى نيو انجلند، وتظهر بوضوح في هضبة بيدمونت. هذا ويندر وجود الالتواءات الكاليدونية المثالية في هذه القارة. وما نجده منها في فرجينيا مثلاً يعد طلائع لحركة الالتواءات الهرسينية. ويحتمل حدوث الحركة الكاليدونية في القسم الأعلى من نهر يوكون في ألاسكا.

وفي أمريكا الجنوبية تتاخم الالتواءات الكاليدونية شرق الكتلة

البرازيلية القديمة، وهي تمتد في اتجاه شمالي شرقي. ولقد أمكن تتبع التواءات كاليدونية أيضاً من الساوفرانسيسكو Sao Francisco إلى سييرات البامباس في شمال غربي الأرجنتين، وهي الالتواءات التي يعبر عنها بالبرازيلية.

٣- الالتواءات الهرسينية:

لقد نشأت الالتواءات الهرسينية في عدة أدوار شملت فترة طويلة من الزمن امتدت خلال العصرين الفحمي والبرمي. وهناك من يرى أن بدايات الحركة الهرسينية تمثل نهاية النشاط التكتوني الكاليدوني، وأن نهاياتها كانت بمثابة مقدمات للالتواءات الألبية.

ولقد ميز ستيلي الأدوار الرئيسية التالية أثناء فترة النشاط التكتوني الهرسيني.

١- دور بريتون Breton: في أوائل العصر الفحمي.
٢- دور السوديت Sudetic: في أواسط العصر الفحمي.
٣- دور أستوريا Asturian: في أواخر العصر الفحمي.
٤- دور ساليا Saalian: في العصر البرمي الأسفل.
٥- دور بفالزيا Pfalzia: في العصر البرمي الأعلى.

وقد تباينت هذه الأدوار في أهميتها وفي مناطق وجودها. فالدور البريتوني محدود الانتشار نسبياً، ويتمثل على الخصوص في وسط آسيا. أما الدوران الثاني والثالث فيبدو أنهما كانا أهم الأدوار. ويتمثل الدور الرابع على الخصوص في أوروبا، أما الدور الأخير فقليل الأهمية.

وتعرف الالتواءات الهرسينية في الجزر البريطانية وفي غرب فرنسا باسم الالتواءات الأرموريكية، كما يطلق عليها تعبير الالتواءات الفارسكية في أجزاء أوربا الأخرى. وتنتمي لهذه الالتواءات الهرسينية جميع الجبال الانكسارية (الهورستات) في أوربا. وقد كانت فيما مضى سلسلة عظيمة الامتداد. ثم تقطعت بواسطة عوامل التعرية إلى كتل عديدة نجد أمثلة لها في هضبة المزيتا الاسبانية، وفي بريتاني، وجنوب غرب أيرلندا، وجنوب ويلز، وإقليم كورنول، وتلال منديت Mendip في إنجلترا، وقاعدة حوض باريس، وفي حقل الفحم البلجيكي، وفي هضبة الراين وهضبة فرنسا الوسطى، وجبال الفوج والغابة السوداء، وهضبة بوهيميا، وجبال السوديت، والكتل النارية في نطاق جبال الألب ككتلة المون بلان Mont Blanc، والإجوي روج Aiguilles Rouges وكتلة الآر والجوتارد Aar-Gotthard ثم مرتفعات الهارتز وثورنجرفالد Thuringerwald في ألمانيا، ومنطقة الدونيتز ومرتفعات أورال في الروسيا. وتمتد الالتواءات الهرسينية في أسبانيا في اتجاه شرقي غربي تقريباً، ولكنها تنحرف شمالاً في إقليم أستورياس Asturias الواقع في الشمال الغربي من أسبانيا. وتمتد مرتفعات الأورال وامتداداتها في جزيرة نوفايازيمليا في اتجاه شمالي جنوبي تقريباً، ولكنها تنثني جنوباً بشرق ثم شرقاً لتتفق مع امتداد مرتفعات تيان شان وغيرها في وسط آسيا التي تحتوي في معظمها على عناصر التوائية هرسينية.

وتتمثل الالتواءات الهرسينية في آسيا في مرتفعات ألتاي، وسايان، وبيكال وخنجان، وفي حوض زونجاريا Dzungaria، ومرتفعات تيان شان وفرغانه Ferghana، وفي حوض تاريم، ومرتفعات ألاي Alai. وسهوب القرغيز، وجبال نان شان، ومرتفعات حوض نهر آمور، وفي

مرتفعات تسن لنج شان Tsin-Ling-Shan في الصين التي نجد لها امتداداً في اليابان في سلسلة تشوجوكو Chugoku في جنوب هنشو، وإن كان بعض الباحثين يميلون إلى الاعتقاد بأن سلسلة تشوجوكو ما هي إلا امتداد لمرتفعات كون لون Kuon Lun في جنوب الصين. ونجد أمثلة للالتواءات الهرسينية أيضاً في أرخبيل الملايو في جزر بانكا Banka وبيليتون Billiton وجاوه وفي شمال بورنيو؛ وفي آسيا الصغرى حول مضيق البوسفور، وفي أرمينيا، وأيضاً في شمال مرتفعات أفغانستان والهيمالايا حيث احتوتها حركة الالتواءات الألبية فيما بعد.

وتشمل الالتواءات الهرسينية مرتفعات أستراليا الشرقية، ويبدو أن حركة الالتواءات الرئيسية في شرقي أستراليا قد حدثت أثناء العصر الفحمي وفي عدة أدوار، وتمتد المرتفعات امتداداً عاماً من الشمال إلى الجنوب، وهناك آثار لالتواءات هرسينية في نيوزيلندا.

هذا ويعتقد ستيلي أن الدور البريتوني كان من بين الأدوار الهرسينية الهامة في وسط آسيا خاصة في مرتفعات تيان شان، وأن دور ساليا يمثل الفترة الرئيسية في التواءات آسيا الصغرى، كما أنه كان مهماً أيضاً في جنوب الصين وجزر الملايو وفي بعض جهات شرقي أستراليا. ويعتقد أيضاً أن الالتواءات التي نشأت أثناء دوري السوديت وأستوريا تنتشر انتشاراً كبيراً في وسط آسيا وفي جنوب الصين وأرخبيل الملايو وأستراليا.

وفي العالم الجديد تمتد الالتواءات الهرسينية امتداداً عظيماً في شرقي أمريكا الشمالية من نهر السنت لورانس شمالاً نحو الجنوب على طول الولايات الشرقية؛ وفي الجنوب تنثني لتتخذ اتجاهاً شرقياً غربياً تقريباً في مرتفعات أواشيتا Ouachita وأربوكل Arbuckle وويشيتا Wichita في ولايتي أركانساس وأوكلاهوما.

ويعتقد بعض الباحثين ومنهم سويس أن إلتواءات الأبلاش تعاصر إلتواءات بريتاني في شمال غربي فرنسا، ولكن ستيلي يرى أنه ولو أن التواءات أوربا وأمريكا الفارسكية الأرموريكية متشابهة في العمر من حيث أنها جميعاً هرسينية النشأة، إلا أن هناك اختلافات واضحة من حيث أدوار نشأتها ونموها. فالإلتواءات التي نشأت في دوري السوديت وأستوريا في أوروبا نجد لها شبيهاً في أمريكا الجنوبية، أما الالتواءات التي نشأت أثناء دور ساليا فتتمثل على الخصوص في جبال الأبلاش.

وتظهر الالتواءات الهرسينية «خاصة ما نشأ منها في دوري السوديت وأستوريا» في مرتفعات الأنديز بأمريكا الجنوبية حيث تأثرت بحركات الرفع الألبية فيما بعد. ويتمثل هذان الدوران أيضاً في كورديلليرات إقليمي سان جوان San Juan وميندوزا Mendoza.

ولقد بدأ الالتواء في سلاسل الكاب بجنوب إفريقيا التي تمتد من الشرق إلى الغرب في العصر الترياسي. لهذا فإنه من الصعب اعتبارها هرسينية النشأة. وقد بدأ تكوين المرتفعات عقب إرساب طبقات إيكا Ecca التي أرسبت في العصر البرمي، واستمر إلى ما قبل العصر الكريتاسي. ونجد أيضاً آثاراً لحركات رفع هرسينية في الأجزاء الغربية المرتفعة من حوض الكونغو حيث ترتكز تكوينات العصر البرمي والترياسي فوق طبقات ملتوية. وعدا هذا تتمثل الالتواءات الهرسينية في هضبة مراكش، وفي أطلس العليا، وفي الأجزاء الشمالية من الصحراء الكبرى.

٤- الالتواءات الألبية:

تعرف أحدث الحركات الالتوائية التي أصابت قشرة الأرض

بالالتواءات الألبية. وهي ما تزال شاخة لم تؤثر فيها عوامل التعرية إلا قليلاً، وبسبب ذلك، ونظراً لحداثة عمرها النسبي، فقد عرف عنها أكثر من غيرها. ولقد تحكم في توزيع نظم الالتواءات الألبية عاملان رئيسيان: أحدهما، يتمثل في الكتل القديمة الثابتة التي أثرت أيضاً في توزيع واتجاهات الالتواءات الكاليدونية والهرسينية. وثانيهما، تلك الكتل الجبلية والمورستات التي تخلفت من نظم الالتواءات القديمة. وتشمل فترة الالتواءات الألبية مجموعات من سلاسل الجبال المختلفة الأعمار. والواقع أن حركة الالتواء الألبي لم تقتصر على الزمن الثالث فحسب، بل شملت قسماً من الزمن الثاني أيضاً.

ولقد ميز ستيلي H. Stille بين التواءات ألبية قديمة، وأخرى وسيطة، وثالثة حديثة. أما القديمة فقد حدثت فيما قبل الزمن الثالث وتشمل خمسة أدوار هي من القديم إلى الحديث على التوالي: الدور السيميري القديم Old Cimmerian، والسيميري الحديث، والنمساوي Austrian، وتحت الهرسيني Sub-Herceynian، واللاراميدي Laramide. أما الالتواءات الألبية الوسيطة فقد حدثت في عصور القسم الأول من الزمن الثالث وذلك في دورين هما. دور البرانس (في عصر الأيوسين) ودور سافيا Savian (في عصر الأوليجوسين). وشغلت الالتواءات الألبية الحديثة القسم الثاني من الزمن الثالث، وحدثت في أربعة أدوار هي: الدور الاستايري Steirian (في عصر المايوسين) والاتيك Atic (مايوسين)، والروداني Rhodanian (أواخر المايوسين وأوائل البلايوسين)، .ثم الدور الولاشي Wallachian (أواخر وما بعد البلايوسين).

ويميل البعض إلى اعتبار الدور السيميري القديم نهاية الالتواءات الهرسينية ،ولكن ستيلي يرى أنه بداية لحركة الالتواءات الألبية، وهو

يتمثل على الخصوص في جنوب إفريقيا وفي شبه جزيرة القرم. وتعتبر أدوار سيميريا الحديث والنمسا ولاراميد أهم أدوار الزمن الثاني، ويتمثل الدور الأول في التواءات ابتدائية أصيلة Stammfaltungen أظهرت نظم المرتفعات التي تحيط بالمحيط الهادي خصوصاً سلاسل الباسيفيك في غرب أمريكا الشمالية. أما الدور النمساوي فقد أنشأ أجزاء من مرتفعات الألب الشرقية، ومن جبال البرانس، والكربات والقوقاز، وطوروس، والمرتفعات الإيرانية. وفي الدور اللارامي برزت مرتفعات الروكي إلى الوجود، ويتمثل هذا الدور أيضاً في التواءات البروفانس في أوربا، وفي آسيا في سومطره وفي الهيالايا وفي الأرخبيل الشرقي من آسيا.

أما أدوار القسم الأخير من الزمن الثالث فتتمثل في جهات عديدة من مرتفعات العالم، فنجد الدور الاستايري ممثلاً في سلاسل الباسيفيك في أمريكا الشمالية، كما يظهر دور الأتيك في جبال جورا ومرتفعات القوقاز، والدور الروداني في جبال الألب الفرنسية، ودور والاشيا في القسم الجنوبي من جبال الكربات، وفي مرتفعات آسيا التي تمتد من شرقي العراق حتى شبه جزيرة الملايو.

هذا وينبغي أن نشير إلى أنه لا يشترط بالضرورة أن يقتصر تكوين نظام أو آخر من نظم المرتفعات على دور معين، إذ لا شك أن أدواراً أخرى قد ساهمت في عمليات الرفع والبناء. ولكنها قد تكون أقل أثراً وبالتالي أقل وضوحاً.

وحينما نتتبع سلاسل الالتواءات الألبية على سطح الأرض، نجد أنها تمتد في نطاقين عظيمين: أحدهما يبدأ من بيتيك كورديلليرا Petic Cordillera في جنوب أسبانيا عبر مرتفعات جنوب أوربا ووسط آسيا وينتهي في جزر

أندونيسيا، ويعرف بنطاق الألب والهيمالايا. والثاني يحيط بسواحل المحيط الهادي ويعرف بالنطاق الالتوائي الباسيفيكي.

وفي أوربا يشمل النطاق الألبي بيتيك كورديلليرا، وجبال البرانس، والبروفانس، وسلاسل جبال الألب، والكربات، وجبال البلقان، والقوقاز (أنظر شكل ١٨١ صفحة ٤٩٠) ويعتقد كوبر أن الاتجاه العام الرئيسي للحركة الالتوائية التي أنشأت هذه المرتفعات كان صوب الشمال، ومن ثم يميزها عن مرتفعات أطلس، والأبنين، والألب الدينارية. ومرتفعات اليونان، وطوروس حيث اتجهت الحركات التي أنشأتها نحو الجنوب. أما الصخور التي تدخل في تركيب هذه المرتفعات جميعاً فقد أرسبت في الحوض البحري القديم المعروف ببحر تيثس.

ويلاحظ أن كوبر يؤمن بأن انضغاط الرواسب والتوائها قد حدث نتيجة لتحرك الكتلتين القاريتين في اتجاهين متقابلين، ومن ثم فإنه يصور مواقع السلاسل الالتوائية في أوربا في مجموعتين كما يتضح من الشكل رقم ١٨١، فهو لم يربط بيتيك كورديلليرا بسلاسل أطلس الشمالية، وإنما قد ربطها بالبرانس عن طريق مرتفعات شمال شرقي إسبانيا، كما ربط بين مرتفعات الأبنين والألب الدينارية عن طريق الأرض التي تختفي الآن أسفل رواسب سهل لومبارديا الحديثة في شمال شبه جزيرة إيطاليا.

هذا ويرى دي لوني De Launy أن بيتيك كورديلليرا تستمر عبر مضيق جبل طارق في سلاسل جبال أطلس، بينما يفصل آخرون بين السلسلة الألبية التي تمتد من جنوة عبر جزر البليار إلى السييرا نفاداً وتنتهي في المحيط الأطلسي، وبين جبال البرانس، ويرون أن جبال أطلس تستمر في الجزائر وتونس، ونجد لها امتداداً في جبال الأبنين عن طريق جزيرة صقلية.

ويعتقد تيرميير Termier أن سلاسل البرانس والبروفانس تكون وحدة مستقلة، بينما يصل سويس بين جبال أطلس وبيتيك كورديلليرا. وتختلف الآراء أيضاً فيما يختص بمدى الصلة بين الأبنين ومرتفعات الألب الليجورية Ligurian Alps. فنجد تيرميير يعتبر إقليم ليجوريا الجبلي مركزاً لالتقاء ثلاث مجموعات التوائية هي: الدينارية، والألبية، ومجموعة الأبنين. أما سويس فيرى في سلاسل الألب والأبنين مجموعة واحدة، أما الألب الدينارية فتمثل مجموعة مستقلة تنتهي إلى الشمال من مدينة ميلانو.

وفي آسيا تمتد الالتواءات الألبية من آسيا الصغرى حتى جزر سوندا، ويشمل هذا النطاق مرتفعات القوقاز، وسلاسل التركستان، وجبال كوين لون ويونان وأنام، وهي المرتفعات التي يرى كوبر أنها التوت نتيجة لضغوط شمالية الاتجاه. أما المرتفعات التي نشأت نتيجة لحركات جنوبية الاتجاه فتشمل جبال طوروس، والمرتفعات الإيرانية، وجبال عمان، وسلاسل الهيمالايا، والقوس الجبلي الذي يمتد من الهيمالايا إلى جزر سوندا. وفيما بين النطاقين تمتد الكتل الوسطى التي تتمثل في هضاب آسيا الصغرى (الأناضول)، وإيران، وبامير، والتبت. ونظراً لوجود كتل قارية قديمة ثابتة في شرق آسيا، فإن مرتفعات الهيمالايا لم تستطع مواصلة امتدادها شرقاً فانحرفت صوب الجنوب في بورما والملايو. ويلتقي في جزر أندونيسيا نطاق سلاسل المرتفعات الألبية الأوربية والآسيوية بنطاق سلاسل المحيط الهادي الذي يظهر في أقواس الجزر التي تكتنف سواحل شرقي آسيا (جزر الفيليبين، وكوريل، وألوشيان)، وفي مرتفعات سخوتا ألن Sikhuta Alin وكمتشاتكا، والركن الشمالي الشرقي شبه الجزري أيضاً.

ويستمر هذا النطاق الجبلي الألبي النشأة في غربي الأمريكيتين ممثلاً في سلاسل الروكي والأنديز. وفي أمريكا الشمالية يمكن تقسيم مرتفعاتها الغربية

إلى السلاسل الساحلية الباسيفيكية والسييرا نفادا، ثم جبال الروكي إلى حركة الالتواءات اللارامية كما سبق أن ذكرنا. وفي كندا، وأيضاً في القسم الشمالي للولايات المتحدة،نجد أن حركة الالتواءات كانت موجهة نحو الكتلة الكندية. أما إلى الجنوب من ذلك فقد تأثرت سلاسل المرتفعات بحركات انكسارية عظيمة أدت إلى تكسرها وانفصالها إلى عديد من الكتل المتتالية. ويبدو أن حركة الالتواء التي أنشأت السلاسل الساحلية كانت تتجه صوب الغرب تجاه المحيط الهادي. وبالمثل نجد أن السلاسل الساحلية في أمريكا الجنوبية قد نشأت بسبب ضغوط آتية من الشرق، بينما دفعت السلاسل الداخلية صوب كتلة البرازيل.

وفي القارة القطبية الجنوبية نجد امتداداً لسلاسل الأنديز في إقليم جراهام لاند فيما يعرف بأنديزأنتاركتيكا. أما قارة أستراليا فتخلو تماماً من الالتواءات الألبية.

المراجع

مراجع الفصل الأول:

أبو العينين، حسن سيد أحمد: (١٩٧٠). كوكب الأرض. بيروت.

أنور، يحيى محمد وفوزي، محمد العربي: (١٩٦٤). الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية. دار المعارف بالقاهرة. الباب الأول صفحة ٢٣.

جامو، جورج: (١٩٥٦). الشمس، قصتها من البداية إلى النهاية. الألف كتاب (٨٦)، القاهرة. ترجمة الدكتور أحمد حماد. صفحات ٢٠٠ - ٢٠٤.

جودة، حسنين جودة وأبو العينين، حسن: (١٩٦٨)، سطح هذا الكوكب. ظواهره التضاريسية الكبرى. دار النهضة العربية - بيروت.

جودة، حسنين جودة: (١٩٦٦) معالم سطح الأرض. دار النهضة العربية - بيروت.

متولي، محمد: (١٩٤٩) وجه الأرض. الطبعة الثانية، القاهرة. الباب الأولى صفحة ١.

Brinkmann, R: (1956). Abriss der Geologie. 1. Band, Allgemeine Geologie. Stuttgart. 28. Kap. T. 253.

Hinds, N. E. A.: (1943). Geomorphology. New York. Chap 2. p. 18.

Jeffreys, H.: (1952). The Earth. Cambridge.

Lange, O., Ivaneva. M. & Lebedeva, N. (1962). General Geology. Moscow. pp. 5 – 28.

Russel, H. N: (1935). The Solar System and its origin. New York.

Smart, W. M.: (1959). The origin of the Earth Edinburgh. Part 1, chap. 1, p. 19 and chap 2. p 40. Part 3, chap. 8, p 179.

Swinnerton, H.H.: (1958). The Earth beneath us. London. Part 1, p. 15.

مراجع الفصل الثاني:

الشناوي، محمد عبد الوهاب: (١٩٦٤). مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور. دار المعارف بالقاهرة. الباب الثاني صفحة ١٠٧، والباب الثالث صفحة ٢٩٨.

أنور، يحيى محمد وفوزي، محمد العربي: (أنظر مراجع الفصل الأول). الباب الثاني صفحة ٥١.

فيرنسيدز، و ج. وبولان، أ. م.: الجيولوجيا في خدمة الإنسان. الألف كتاب (٢١٧). وترجمة محمد إبراهيم عطية. الفصل الأول صفحة ١٥.

متولي، محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول). الباب الثامن، صفحة ١٢٤.

Balk, R.: (1937) Structural behavior of Igneous rocks.Geol. Soc. America. Mem 5.

Barth, T.F.W.: (1952) Theoretical Petrology. New York.

Brinkmann, R.: (See under chap. 1) 25 Kap. S. 214, 26. Kap. S. 229.

Closs, H.: (1936). Einfuerung in die Geologie. Berlin. 1. und. 2. Kap.

Cornalius, H. P.: (1953). Grundzuege der aligemeinen Geologie. Wien. 1 Teil. S. 5 39.

Corrans, C W.: (1049) Einfuerung in die Mineralogie. Berlin.

Hills, E. S.: (1962) Outlines of structural geology, London Chap. 1, pp. 1 – 22.

Hinds, N.E.A.: (See under chap. 1) Chap. 6, p, p. 33.

Lange, O. Ivaneva, M., Lebedeva. n.: (See under chap. 1). pp. 55 – 111.

Lengwell, R., Knopf, A., Flint. R. F. (1949) Outlines of physical Geology. Washington, Chap. 2, p 13.

Niggli, P.: (1949) Tabellen zur Petrographie und zum Gesteinsbestimnen. Zuerich.

Niggli, P. und Burri, C. (1949) Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens, Zuerich.

Obruchev, V.: (1962) Fundamentals of geology. Moscow, Chap. 7, p. 164.

Shand, S. J.: (1950) Eruptive Rocks, London.

Sparks, B.W.: (1961) Geomorphology, London, Chap. 7, p. 125.

Swinnerton, H.H. (See urder chap. 1) Part 2. p. 35.

Wooldridge, S.W. and Morgan, R. S.: (1961), An outline of Geomorphology, the physical basis of Geography, Second Edition, London, Chap 10. 116.

مراجع الفصل الثالث:

أنور، يحيى محمد وفوزي، محمد العربي: (أنظر مراجع الفصل الأول).

الباب الثالث صفحة ١١٠ والباب الرابع صفحات ٢٣٨ - ٢٦٨.

رزقانة إبراهيم وآخرون (١٩٥٤): أسس الجغرافيا الطبيعية. الفصل الرابع صفحة ٩٠.

متولي، محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول). الباب الخامس صفحة ٥٢.

فيرنسيدز، و. ج. وبوللان، أ. م. (أنظر مراجع الفصل الثاني). الفصل الثاني صفحة ٤٠.

Affane. G. B. und Friedlaender, I,: (1979). Die Geschichte des Vesuv. Berlin.

Beerth, T. F. W.: (1950) Volcanic geology. Hot Springs and Geysers of Island. Carnegie Inst. Publ. 587.

Brinkmann, R.: (See under chap 1), 19 Kap. S. 130. 20 Kap S. 140, 21, Kap, S. 160, 23, Kap S. 187, 24, Kap S. 202.

Cloos, H.: See under Chap. 2), S 202.

Cornelius, H. P: (See under Chap. 2), Dritter Tell. S. 193 – 238.

DAVIS, W. M: (1924) Die Die Erklaerende Beobachtung der Landformen, Vulkanische, Formen. pp. 316 – 351.

Goguet, J.: (1952). Traité de Tectonique, Paris.

Gutenberg. B. & Richtor, C. F.: (1954). Seismicity of the Earth, Princeton.

Hills, E.S.: (See. under Chap. 2). Chap. 3 pp. 54 – 89 chap 4, pp. 75 – 89, chap 5. pp. 114 – 135.

Hinds. N. E. A.: (See under chap. 1), Chap. 10, p 115. chap. 11. p. 221.

Jagger, T. A: (1947), Origin and development of Craters. Geol, Soc, Am. Mem. 21.

Jung, k.: (1953) Keine Erdbebenkunde. Verhandl, Wiss, 37, Berlin.

Kegel, W.: (1948), Sedimentation und Tektonik in der rheinishen Geosynklinale, Zeitschr, Dtsch, Geol, Ges, 100's 276.

Keilhach, k.: (1932), Lebrbuch der praktischen Geologie, Stuttgart.

Kienow, S.: (1942 – 1949), Gründzuge einer Thoerie der Faltugs-und Schieferungsvorgaenge. Fortschr, d. Geol, u. Palaeont, 14, h. 46, 1942, N. JB. Min, Aht, 90, R. 345.

Lange, O. and others: (See under chap. 2), Chap. 12, p. 207, chap. 13. p. 244, chap. 14 p. 375.

Louis, h: (1961). Allgemeine Geomorphologie, 2, Auflage, Berlin, 2, Kap. S. 43, Kap. M.S. 259.

Obruchev, V: (See under chap. 1) Chap. 7, 164, chap. 8. p 204, chap. 9, p 242, chap. 11. p. 292.

Rittmann, A: (1936) Vulkane und ihre Taetigkeit, Stuttart. Sapper, K: (1927) Vulkane , Stuttgart.

Steers; J. A.: (1961) The unstable Earth. London, Chap. 17. pp. 58 – 70.

Trewarta, G. T, Robinson, A. H & Hammond, E.H: (1961) Fundamentals of Physical Geography; London, Chap, 3, p. 42.

Von Engeln O. D: (1953) Geomorphology, New-york, chap. 17. p. 369. and chap. 23, p 589.

Wooldridge, S. W. & Morgan, R.S.: (See under chap 2) Chap 2, p 8, chap 5. p 49 chap. 7 86, chap. 8 p 97.

مراجع الفصل الرابع:

أبو العينين، حسن: (١٩٦٨). أصول الجيومورفولوجيا. الطبعة الثانية، دار المعارف.

جودة، جودة حسنين: (١٩٦٣). تكوينات اللوس. الجمعية الجغرافية المصرية. الموسم الثقافي.

جودة، جودة حسنين: (١٩٦٤). الاكتساح والنحت بواسطة الرياح. مجلة كلية الآداب - جامعة الاسكندرية، المجلد الثامن عشر.

جودة، جودة حسنين: (١٩٦٦). العصر الجليدي، بحث في الجغرافيا الطبيعية لعصر البلايوستوسين. منشورات جامعة بيروت العربية.

جودة، جودة حسنين: (١٩٧٢). أبحاث في جيومورفولوجية الأراضي الليبية. الجزء الأول. منشورات الجامعة الليبية - بنغازي.

جودة، جودة حسنين: (١٩٧٥) أبحاث في جيومورفولوجية الأراضي الليبية. الجزء الثاني. منشورات جامعة بنغازي.

شاهين. علي عبد الوهاب: (١٩٦٩). مقالات في الجيومورفولوجيا. الهيئة العامة للتأليف والنشر.

صفي الدين، محمد: (١٩٥٧). قشرة الأرض. القاهرة.

متولي، محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول). الباب ٩ إلى ١٤ صفحات ١٥٩ - ٣٠٤.

Cotton, C. A.: (1950) Geomorphology, London, 2nd Edit.

Hinds, N. E. A.: (See under chap 1).

Lobeck, A. K.: (1939). Geomorphology, an introduction to the Study of Landscapes New York.

Lonis, H.: (See under Chap. 3).

Machatshek, F.: (1954). Geomorphologie, Stuttgart.

Maul, O. M.: (1958), Handbuch der Geomorphologie. Zweite Auflage.

Pedl, R. F.: (1952). Physical Geography, London.

Sparks, B. W.: (1961) (See under Chap. 2).

Thernbury. W. D.: (1958) Principles of Geomorphology. New York.

Von Engeln, O. D.: (1953). (See under Chap. 3).

Woldstedt, P.: (1954). Das Elizeitalter, Grundlinien einer Geologie des Quartaers, Stuttgart.

Wooldridge, S. W.: and Morgan, R. S.: (See under Chap. 2).

مراجع الفصل الخامس:

متولي، محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول) الباب الرابع، صفحات ٤٠ - ٥١.

عبد العليم، أنور (١٩٦٤). البحار والمحيطات. القاهرة. صفحات ١٠٣ - ١٠٥ و ١٢٣ - ١٣١.

Bucher, W. H.: (1933). The Deformation of the Earth's Crust. Prineston, pp. 464-468.

Joukins, J.T.: (1937), A Text Book of Oceanography. London, pp. 4-7.

Steers, J. A.: (See under Chap 3). ,Chap 1, pp. 1-6.

Swinnerton, H. H.: (See under chap 1). pp. 35-42.

Von Engeln, O. D.: (See under chap 3), Chap. 2, pp. 27-29.

Wooldridge, S. W.: and de Morgan, R. S.: (See under chap. 2), pp. 32-33.

مراجع الفصل السادس:

متولي، محمد: (أنظر مراجع الأول). الباب السادس صفحة ٦٨.

Baiely, E. B.: (1936), Sedimentation in relation to Tectonics, Bull, Geol, Soc. Amer, Vol. 47 pp. 1723-1726.

Brinkmann, R.: (See under chap. 1) 29, Kap., S. 260.

Bucher, W. H.: (See under chap. 4).

Cloos, H.: (See uncer chap 2).

Cornelius, H. p.: (See under chap 2). Dritter Teil S 251-282.

Daly, R. A.: (1940), Strength and Structure of the Earth, New York.

De Toit, A. L: (1937), Our wandering Continents, Edinburgh.

Jeffreys, H.: (See under chap 1).

Kober, L.: (1928), Der Bau der Ere. 2. Aufl. Berlin.

Lange, O. & Others: (see under chap 1). pp. 266-277.

Machatschek, F.: (1955), Das Relief der Erde, Berlin, Band 1, S 19.

Obrutchev, V.: (See under chap. 2», Chap. 10, p. 290.

Staub, R.: (1924), Der Bau der Alpen, Beitr, Geol, Karter Schweiz, 52, Bern.

Steers, J. A.: (See under chap. 3), Chap. 4, p. 134.

Stille, H.: (1924), Crundfragen der vergleichenden Tektonik, Berlin.

Wegener, A.: (1929), Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, 4. Aufl, Braunshweig.

Wooldridge, S. W. & Morgan, R. S: (See under chap. 2). Chap. 3, p. 30. Chap 9, p. 110.

مراجع الفصل السابع:

جودة، حسنين جودة: (١٩٧٥). جغرافية أوروبا الاقليمية. الإسكندرية. الطبعة الثانية.

متولي محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول). الباب السابع صفحات ٨٩ - ١١١.

Cloos, H.: (1937), Zur Grosstektonik Hochafrikas und Seiner Umgebung. Geol, Rundsh 28. S. 333-348.

Daly, R. A.: (See under chap. 5).

Hills, E. R.: (1946), Some aspects of the Tectonics of Australia Proc, ROY. Soc, N. S. W. Vol. 79, pp. 67-91.

Kober, L: (1930), Neue Angaben ueber die Verteilung der Massen ander Erdoberflaeche, Cbi. f. Miri usw. Abt. B.

Kober, L.: (1930), Die Verteilung der Massen an der Erdoberflaeche, Gerlands Beitr, 2, Geophysik 20.

Machatschek, F.: (See under chap. 5) Baud 1, S. 175 – 177, 203 – 206, 226 – 239, 240 – 243, 280 – 286.

Machatschek, F.: (See under chap 5). Band II, S. 75 – 80, 97 – 99, 116 – 118, 126 – 128, 154 – 155, 189 – 196,

208 - 209, 217 - 219, 274 - 277, 284 - 288, 446 - 451, 480 - 484, 537 - 548.

Steers, J. A.: (See unber chap. 3), pp. 7 - 20.

Wilson, J. T: (1949), Some major structures of the Canadian Shield, Canadian Min & Met. Bull, vol, 52, pp. 231 - 242.

مراجع الفصل الثامن:

رزقانة، إبراهيم وآخرون: (أنظر مراجع الفصل الأول) الفصل الربع صفحة ٩٠.

متولي، محمد: (أنظر مراجع الفصل الأول) الباب السابع صفحات ١١٣ - ١٢٧.

Brinkmann R.: (See under chap. 1) 2, Kap, S. 170.

Cornelius, H. P.: (See under chap 2). S. 247 - 276, 283 - 296.

Glassner, M. F. & Treichert, (1947), Geosyynclines: A Fundamental Concept in Geology, Amer, Jouru, Science 245, pp. 464 - 482, 571 - 591.

Machatsckeh, F.: (See under chap. 5.), Band 1, s.11 - 20, 54 - 61, 66 - 37, 85 - 88, 298 - 305, 310 - 317, 359 - 377, 378 - 420.

Machatschek, F.: (See under chap. 5), Band II, S 1 - 11, 34 - 44, 451 - 471.

Obrutchev, V.: «See under chap. 2», Chap 8. p. 204.

Staub, R.: «See under chap. 5».

Steers, J. A: «See under chap. 3», pp. 20 – 45.

Stille, H.: (1940), Einfuerung in den Bau Amerikas; Berlin.

Stille, H.: (1950), Structur und Zeit, Geol, Rundsch, 38 – 87.

Stille, h.: (1955), Lebendige Tektonik, Geol, Rundsch, 43 – 1.

Wooldridge, S. W. & Morgan, R. S: «See under chap 2» Chap 6, p 63.



محتويات الكتاب

المحتويات

